

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



**ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA
DE TELECOMUNICACIÓN**



**SISTEMA DE MONITORADO DE RUIDO DE AVIONES
BASADO EN PC**

AUTOR: DENIS ESTEBAN PEREZ

TUTOR: MARIANO RUIZ GONZALEZ

DIRECTOR: CESAR ASENSIO RIVERA

SEPTIEMBRE 2014

TEMA: Detección, clasificación y evaluación de eventos sonoros.

TÍTULO: Sistema de monitorado de ruido de aviones basado en PC.

AUTOR: Denís Esteban Pérez

TUTOR: Mariano Ruiz González

VºBº

DIRECTOR: Cesar Asensio Rivera

DEPARTAMENTO: SEC

Miembros del Tribunal Calificador:

PRESIDENTE: José Manuel Pardo Martín

VOCAL: Mariano Ruiz González

VOCAL SECRETARIO: Juan Manuel López Navarro

Fecha de lectura: 29-09-2014

Calificación:

El secretario,

AGRADECIMIENTOS

La realización de este proyecto supone el fin de una etapa y el comienzo de otra distinta. Han sido años de esfuerzo, motivación y superación personal para alcanzar una meta que se veía tan lejana e inaccesible pero a base de trabajo he conseguido superar.

Quería agradecer el apoyo y la paciencia hacia mi persona a mi familia, especialmente a mis padres y a mis abuelos que son los que me apoyan y entienden día a día. A Bárbara que está conmigo en cualquier momento y situación aminorándome y soportándome. Al resto: tíos, tías primos/as formáis parte también de esto y os lo agradezco profundamente.

Una especial mención al director de este proyecto Cesar Asensio Rivera por su ayuda y guía en las tutorías y por tantos consejos con los que tanto he aprendido y crecido como persona.

Por último a mi tutor Mariano Ruiz González por darme la oportunidad de realizar este proyecto y por una última revisión tan necesaria.

DENÍS

RESUMEN

Este proyecto surge por la problemática ocasionada por elevadas cantidades de ruido ambiental producido por aviones en sus operaciones cotidianas como despegue, aterrizaje o estacionamiento, que afecta a zonas pobladas cercanas a recintos aeroportuarios. Una solución para medir y evaluar los niveles producidos por el ruido aeronáutico son los sistemas de monitoreo de ruido. Gracias a ellos se puede tener un control acústico y mejorar la contaminación ambiental en las poblaciones que limitan con los aeropuertos.

El objetivo principal será la elaboración de un prototipo de sistema de monitoreo de ruido capaz de medir el mismo en tiempo real, así como detectar y evaluar eventos sonoros provocados por aviones. Para ello se cuenta con un material específico: ordenador portátil, tarjeta de sonido externa de dos canales, dos micrófonos y un software de medida diseñado y desarrollado por el autor. Este será el centro de control del sistema. Para su programación se utilizará la plataforma y entorno de desarrollo LabVIEW.

La realización de esta memoria se estructurará en tres partes.

La primera parte está dedicada al estado del arte, en la que se explicarán algunos de los conceptos teóricos que serán utilizados para la elaboración del proyecto.

En la segunda parte se explica la metodología seguida para la realización del sistema de monitoreo. En primer lugar se describe el equipo usado, a continuación se expone como se realizó el software de medida así como su arquitectura general y por último se describe la interfaz al usuario.

La última parte presenta los experimentos realizados que demuestran el correcto funcionamiento del sistema.

ABSTRACT

This project addresses for the problematics caused by high quantities of environmental noise produced by planes in his daily operations as takeoff, landing or parking produced in populated areas nearly to airport enclosures. A solution to measure and to evaluate the levels produced by the aeronautical noise are aircraft noise monitoring systems. Thanks to these systems it is possible to have an acoustic control and improve the acoustic pollution in the populations who border on the airports.

The main objective of this project is the production of a noise monitoring systems prototype capable of measuring real time noise, beside detecting and to evaluate sonorous events produced by planes. The specific material used is portable computer, sound external card of two channels, two microphones and a software of measure designed and developed by the author. This one will be the control center of the system. For his programming is used the platform of development LabVIEW.

This memory is structured in three parts.

The first part is dedicated to the condition of the art, in that will be explained some of the theoretical concepts that will be used for the production of the project.

The second phase is to explain the methodology followed for the development of the noise monitoring systems. First a description of the used equipment, the next step, it is exposed how was realized the software of measure and his general architecture and finally is described the software user interface.

The last part presents the realized experiments that demonstrate the correct use of the system.

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	El ruido en aeropuertos	1
1.2	Monitorado de ruido de aviones.....	1
1.2.1	Instrumentos de medición	3
1.2.2	Sistemas de monitorado: fijos y móviles.....	6
1.2.2.1	Sistemas de monitorado fijo	6
1.2.2.2	Sistemas de monitorado portátiles	17
1.2.3	Mapa interactivo de ruidos WebTrack	22
1.2.4	Legislación de contaminación acústica y ruidos	24
2	OBJETIVOS	27
3	METODOLOGIA.....	28
3.1	Equipo usado	28
3.2	Arquitectura de programación general del sistema	30
3.2.1	Introducción a LabVIEW y definición de VIs	30
3.2.2	Arquitectura del sistema de monitorado	31
3.2.2.1	Módulo de adquisición de datos	32
3.2.2.2	Módulo de consultas	37
3.3	Interfaz del usuario	43
3.3.1	Botones generales del sistema	44
3.3.2	Pestaña de configuración	46
3.3.3	Pestaña de capturas	49
3.3.4	Pestaña de consultas	52
4	RESULTADOS	56
4.1	Experimento 1: calibración del sistema.....	56
4.2	Experimento 2: correlación.....	60
4.3	Experimento 3: condiciones (umbral y ancho) de detección	62
4.4	Experimento 4: fuentes sonoras individuales	71
4.5	Experimento 5: fuentes sonoras simultáneas	85
4.6	Experimento 6: fuente sonora exterior vivienda	91
4.7	Experimento 7: fuentes sonoras aisladas	93
4.8	Experimento 8: detección de vehículos	96

5	CONCLUSIONES	100
5.1	Sistema general de medida.....	100
5.2	Funcionalidad del sistema desarrollado	101
6	ANEXO 1 :TABLA DE RESULTADOS EXPERIMENTO 1	107
7	BIBLIOGRAFÍA.....	112
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113

1. INTRODUCCIÓN

1.1 El ruido en aeropuertos

En la actualidad el transporte aéreo constituye una modalidad de transporte ampliamente expandida y explotada en el mundo. Las infraestructuras aeroportuarias se han convertido en un centro económico, social y cultural importante para el desarrollo y crecimiento de la región donde se asientan. El constante flujo de pasajeros, aeronaves, vehículos autorizados...etc., interactúan con el medio ambiente donde se levantan, por lo tanto el equilibrio entre ambas partes es fundamental para su correcto funcionamiento.

Un punto clave para ese nexo de unión entre medio ambiente, aeropuertos, y sociedad es el ruido en dichas infraestructuras. Dentro del ruido ocasionado por los medios de transporte, los aviones son los que generan una mayor potencia acústica y eso desde hace décadas, constituye un serio problema ambiental en el mundo entero. Esta situación provoca múltiples problemas cuando los aeródromos están contruidos cerca de zonas pobladas o donde el uso del terreno exige un ambiente acústico apacible o moderado.

Para poder controlar este problema y actuar en consecuencia, los aeropuertos se proveen de un sistema de monitorado permanente de ruido para intentar atenuar las molestias a la población circundante y poder determinar y acotar las zonas de tierra, tanto para aeródromos ya contruidos como para los que se planifique su construcción.

1.2 Monitorado de ruido de aviones

Según AENA [1] el monitorado de ruido en aviones es *un sistema de control que permite detectar, medir y asociar el ruido producido por las aeronaves al sobrevolar los micrófonos instalados en zonas estratégicas de su entorno.*

Gracias a la correlación entre las medidas realizadas por los Terminales de Monitorado de ruido (TMR) y la información recibida por los planes de vuelo y los radares, estos sistemas evalúan datos en el entorno del sistema general aeroportuario. De esta manera, quedan registradas las características de cada evento sonoro y todos los datos relacionados con la aeronave responsable de dicho evento: identificativo del avión, posición, altitud, compañía aérea, destino, etc.

Se disponen con el fin de medir los niveles de ruido ambiental en los puntos más expuestos al ruido aeronáutico (próximos a las rutas aéreas) para evaluar y reducir la contaminación acústica, provocada por las operaciones aeronáuticas en las poblaciones que pudieran verse afectadas.

El control acústico no se limita únicamente a las aeronaves en vuelo, sino que también se lleva a cabo el control de ruido de las aeronaves en tierra. Ocurre especialmente durante la noche, en zonas de plataforma de estacionamiento de aviones próximas a las poblaciones. Estas limitan con el aeropuerto debido a las molestias que los aviones pudieran provocar en dichas zonas.

Los sistemas de monitorado de ruido proporcionan información a los habitantes del entorno aeroportuario afectado en materia de afección acústica. Ponen a su disposición datos de ruido y de trayectorias de aeronaves, que recogen los sistemas que utiliza un aeropuerto para realizar el seguimiento y control de las operaciones aeronáuticas, así como conocer el impacto acústico que éstas pudieran producir en el entorno. Los habitantes pueden realizar entre otras consultas:

- Visualizar los movimientos de las aeronaves en vuelo recientemente o días atrás, con datos como código, altitud o tipo de aeronave. Esta información, por motivos de seguridad, se ofrece con algunos minutos de demora.
- Visualizar los niveles de ruido asociados a cada aeronave que los produce, con los datos registrados en los terminales de monitorado de ruido instalados en los alrededores del aeropuerto. Esta información se facilita con un tiempo de margen posterior, en función del tiempo necesario para que los datos sean correlacionados.
- Seleccionar el periodo temporal y/o el área geográfica a visualizar, lo que permite identificar el ruido producido por las aeronaves en una zona concreta o un periodo de tiempo determinado.
- Consultar datos históricos en un determinado intervalo temporal.
- Seleccionar un lugar para que el sistema calcule la distancia directa entre cualquier aeronave que pase por las proximidades y dicho lugar.

Los sistemas de monitoreo de ruido presentan muchos beneficios, destacando los siguientes:

- Evaluar la calidad acústica ambiental de cada municipio o de la zona de estudio.
- Determinar las necesidades del control en materia de contaminación acústica.
- Adoptar planes de acción en materia de contaminación acústica y en general de las medidas correctivas, preventivas y de seguimiento adecuadas.
- Verificar la efectividad de las medidas de control.
- Verificar el cumplimiento de la legislación vigente.
- Informar al público sobre el estado de la calidad acústica.
- Activar las medidas de contingencia cuando se requiera.
- Suministrar datos para construir o complementar los mapas de ruido.
- Evaluar la influencia de la contaminación acústica sobre la salud y el ambiente.
- Proveer información en tiempo real para un sistema de alerta.
- Deducir problemas de salud de la población.
- Obtener información para desarrollar, ajustar o aplicar modelos predictivos.

1.2.1 Instrumentos de medición

El sonómetro mide el nivel de ruido que hay en determinado lugar y en un momento dado. La unidad con la que trabaja el sonómetro es el decibelio de presión sonora.

La norma IEC 61672 [2]: fue publicada en el año 2002 sustituyendo a las normas IEC 60651 e IEC 60804. Esta especifica las características electroacústicas de 3 tipos de instrumentos de medición acústica

- **Sonómetro convencional:** mide el nivel de presión acústica con una ponderación temporal exponencial. Debe indicar por lo menos el nivel sonoro A y la ponderación temporal F.
- **Sonómetro integrados – promediador:** mide el nivel sonoro continuo equivalente de presión acústica. Debe indicar por lo menos el nivel sonoro continuo equivalente A.

- **Sonómetro integrador:** Mide el nivel de exposición a ruido. Debe indicar por lo menos el nivel de exposición a ruido A.

El mismo instrumento puede efectuar un tipo de medición o los tres.

En cada sonómetro se puede trabajar de forma manual o bien programar las características propias de cada caso: por ejemplo almacenamiento automático o programación de inicio y fin de la medición.

Clasificación de los sonómetros según su exactitud:

- **Clase 0:** se utiliza en laboratorios para obtener niveles de referencia.
(Error de ± 0.4 dB)
- **Clase 1:** permite el trabajo de campo con precisión (error de ± 0.7 dB).
- **Clase 2:** permite realizar mediciones generales de campo (error ± 1.0 dB).

El diagrama general de bloques de un sonómetro se aprecia en la figura 1:

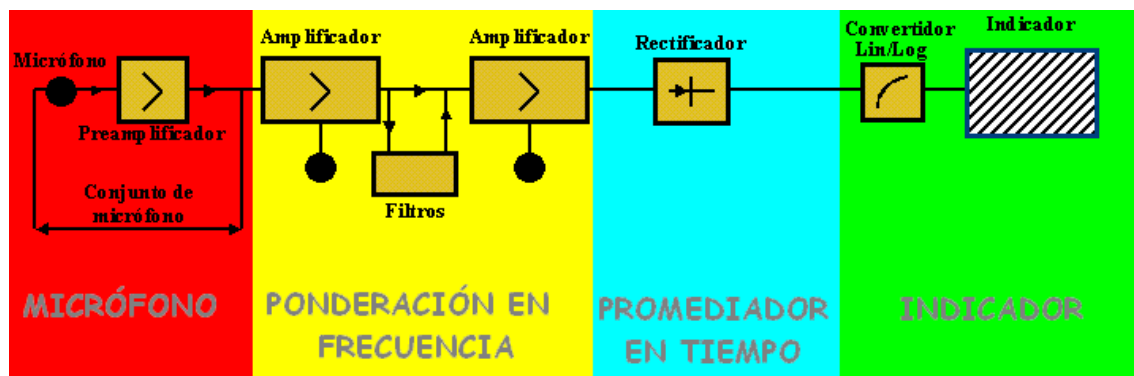


Figura 1. Esquema de bloques general de un sonómetro [3]

El diagrama de bloques de un sonómetro contiene, al menos, lo siguiente:

- **Micrófono:** transductor acústico, convierte las ondas de presión sonora en señal eléctrica, tiene un rango de frecuencias similar a las frecuencias de audio, normalmente entre 8 Hz y 22 kHz.

El micrófono con mejores características para la medición incluyendo condiciones ambientales muy severas es el micrófono de condensador. Sus ventajas son: gran estabilidad ambiental, amplio rango de frecuencia en

respuesta plana, distorsión baja, muy bajo nivel de ruido interno, gran rango dinámico y alta sensibilidad.

Los micrófonos de medida se diseñan de diferentes tamaños y para diferentes aplicaciones. Las características más importantes de los micrófonos son: sensibilidad, respuesta en frecuencia y directividad.

La sensibilidad es la capacidad de los micrófonos para captar sonidos y convertirlos en señales eléctricas. Se define como la relación entre la tensión en circuito abierto generada por el micrófono, respecto de la presión recibida por el mismo. Se mide en V/Pa a 1kHz siendo aconsejables valores por encima de 1mV/Pa.

La respuesta en frecuencias es el nivel de salida o sensibilidad de un micrófono a lo largo de su rango operativo, desde la frecuencia más baja a la más alta. Lo aconsejable es que sea plana, eso significa que todas las frecuencias del margen de audio (20 Hz – 20 kHz) tienen el mismo nivel de salida.

La directividad define la variación de sensibilidad en función del ángulo del eje de las ondas sonoras. Como depende de la frecuencia es aconsejable disponer de sus diagramas polares a diferentes frecuencias para elegir el micrófono correcto.

- **Preamplificador:** adapta la impedancia del micrófono a la impedancia habitual de entrada de un equipo de audio (en torno a los 100-150 Ohms).
- **Amplificador:** su misión es amplificar la señal del micrófono lo suficiente como para permitir la medida de los niveles más bajos de presión sonora y mantener la amplificación constante.
- **Redes de ponderación en frecuencia (filtros):** adaptan la respuesta en frecuencia del sonómetro para que sea semejante a la del oído humano.

En los llamados sonómetros integradores, se permite seleccionar la curva de ponderación que va a ser usada, siendo la curva A la utilizada en materia de contaminación acústica.

- **Promediador en el tiempo:** el cuadrado de la señal de presión sonora con ponderación en frecuencia es integrado en el tiempo por el rectificador con o sin una ponderación exponencial de tiempo para dar lugar a la medida de nivel sonora con o sin constante de tiempo.

Los sonómetros integradores son capaces de medir el nivel sonoro equivalente L_{Aeq} para un intervalo de tiempo específico.

- **Indicador digital:** después de que la señal del micrófono es amplificada, ponderada en frecuencia y promediada en el tiempo, la señal es mostrada en un indicador. Un indicador digital ofrece una muestra visual de la magnitud de nivel sonoro mediante un número o una disposición iluminada de lámparas pequeñas. Algunos indicadores digitales son capaces de mostrar varias cantidades al mismo tiempo.
- **Otras características:** los sonómetros permiten hacer medidas de un rango de frecuencias en octavas o tercios de octava, por eso determinados micrófonos incorporan un banco de filtros.

Cuenta con una amplia gama de accesorios como:

- **Calibradores acústicos portátiles:** para verificar los sonómetros se usan calibradores: es un aparato que genera un sonido estable a una determinada frecuencia. Como se conoce el nivel que debe producir el sonómetro tras realizar una medida, para ajustar el mismo se hace la medición y si todo está correcto el nivel del sonómetro será el mismo que se conoce de antemano.
- **Otros complementos:** trípodes, pantallas anti viento, fuentes de alimentación, extensores, maletas de transporte o filtros.

1.2.2 Sistemas de monitoreo: fijos y móviles

El monitoreo de ruido en aeropuertos se puede realizar por dispositivos móviles o fijos:

1.2.2.1 Sistemas de monitoreo fijo

Es el más común en los grandes aeropuertos del mundo. El primer sistema se instaló en el aeropuerto de New York en 1959. La mayoría miden sin interrupción 365 días al año en diversos ambientes como hielo, nieve, desierto y ambientes tropicales.

Un EMU (Environmental Monitoring Unit) o estación de monitorado es la encargada de medir el ruido de aviones discriminándolos del ruido de fondo. Primero se detectan eventos sonoros sobre una medida realizada en un tiempo determinado, a continuación se clasifican los eventos sonoros que posiblemente sean aviones y finalmente se identifican y evalúan. Se colocan varias estaciones de monitorado en diferentes localizaciones elegidas estratégicamente para medir ruido simultáneamente. Estas localizaciones se elegirán en zonas donde se generen niveles acústicos muy elevados como el despegue y aterrizaje debido a la molestia causada en zonas de vivienda próximas, ya que uno de los objetivos principales de estas estaciones es proporcionar la información adecuada para evaluar y posteriormente tratar la contaminación ambiental producida.

En la figura 2 se muestra un ejemplo de un sistema de monitorado:

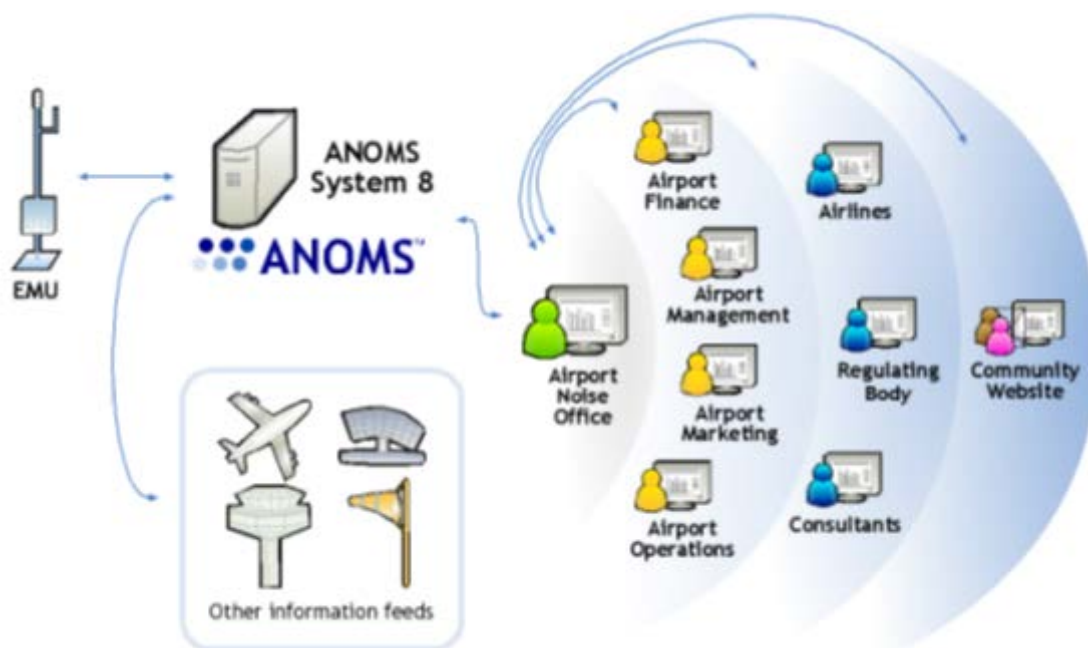


Figura 2. Ejemplo de topología de sistema de monitorado fijo [4]

La figura 2 muestra un ejemplo de topología de un sistema de monitorado permanente para una EMU; a parte de las medidas de ruido detectadas por las EMU, en el sistema de monitorado también se recogen datos importantes como información de radares, posiciones de aviones, datos atmosféricos... como se observa en la imagen, todos estos datos (EMU y Other information feeds) se almacenan en un servidor (ANOMS Systems

8). A este servidor tienen acceso diferentes entornos laborales situados en varias localizaciones dentro del aeropuerto (iconos de ordenadores de la parte derecha de la imagen). En cada posición, los trabajadores pertinentes recibirán y tratarán la información entregada al servidor y la emplearán dependiendo su función.

Características generales

El número de estaciones de monitorado de ruido o EMU depende del número de pistas y ciertos términos geográficos.

Existen sistemas con hasta 25 EMU y una unidad central de procesamiento.

Las EMU se componen principalmente de instrumentos de medida (sonómetro y un micrófono), un ordenador como unidad de almacenamiento (servidor) y tratamiento de la información, el módulo de comunicación para transmitir los datos a la central (router o módem), un sensor de tiempo atmosférico opcional, un sistema de alimentación ininterrumpida (UPS), sensores para la protección de vandalismo, y un mástil basculante.

En unidades modernas en vez de router o modem se puede realizar la comunicación por otros medios como pueden ser: móviles por GSM (Global System for Mobile) o WIFI.

Adicionalmente algunas de estas unidades son capaces de distinguir automáticamente el tipo de ruido detectado, es decir, si es un avión de turbinas, de hélices, un helicóptero o simplemente es ruido de fondo como puede ser el caso del EMU 2100 de Lochard.

Las estaciones de monitorado de ruido operan en las condiciones ambientales más extremas. El rango de temperatura es de -20°C a $+55^{\circ}\text{C}$. El consumo de energía es muy bajo. Se pueden integrar opcionalmente sensores como receptor ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast) o una cámara resistente al clima. ADS-B es un sistema mediante el cual los aviones o cualquier vehículo aeroportuario emiten información (datos como identificación, posición, datos adicionales) generada en sus sistemas de abordaje en modo de radiodifusión mediante enlace de datos.

El ordenador es el medio de comunicación entre estación y usuario procesa datos como:

- Indicadores como L_p , L_{eq} SEL, L_{max} etc.
- Datos meteorológicos.
- Datos de sensores y alarmas y mensajes espontáneos.
- Formulario de datos del radar de control de tráfico aéreo (protocolos misc.).
- Datos adicionales de control de tránsito aéreo como ADEXP o TFDPS.
- Datos del horario de los vuelos en el aeropuerto, estos datos se actualizan en tiempo real.

Estos datos son supervisados permanentemente, en caso de interrupción brusca del ordenador o algún error interno salta una alarma como sistema de seguridad.

Todos los datos se presentan al usuario con gráficos e informes avanzados en tiempo real, por ejemplo: eventos de ruido, L_m y el ruido de fondo representado en gráfico de barras, distribución de niveles y distribución de nivel máximo, resultados de calibración, representación de datos meteorológicos (velocidad y dirección del viento, temperatura, presión atmosférica, humedad y precipitaciones), estadística de uso de pista, violaciones de una ruta...

El interfaz del ordenador es cómodo para el usuario, permite la exportación de datos en EXCELL, PDF Y HTML y los informes son compatibles con Microsoft Office. A parte del inglés soporta otros idiomas como el alemán y utilizan sistemas operativos como Windows 2008 Server R2. Los datos se almacenan en bases de datos a prueba de fallos como ORACLE. El usuario tiene acceso a estas bases de datos y puede hacer consultas y producir informes específicos.

Adicionalmente un software instalado en el ordenador del sistema puede ser capaz de crear mapas de ruido. Un mapa de ruido se diseña para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona. Un ejemplo de un software para crear mapas de ruido es el INM (Integrated Noise Model 7834 de Bruel & Kjaer). Además también se le puede adicionar un software predictivo, el cual puede dar informes aproximados de cuál sería el impacto de nuevos desarrollos, por ejemplo el desarrollo de una nueva pista, etc.

Algunos sistemas, mediante radio por internet, dan la posibilidad al usuario de escuchar el sonido real de los eventos producidos y almacenarlos en MP3.

Los sistemas de monitoreo fijo son robustos y proporcionan gran cantidad de información, su inconveniente es el coste al ser muy elevado.

La localización de estos sistemas se realiza para medir sobre todo el aterrizaje y despegue del avión, ya que es donde se generan niveles acústicos de gran magnitud y la proximidad de área urbana donde el aislamiento podría ser insuficiente. Un ejemplo de colocación podría ser el siguiente mostrado en la figura 3 donde se observa que el sistema de medida se encuentra entre la pista de despegue y el área urbana:



Figura 3. Localización sistema de monitoreo [5]

Un ejemplo de este tipo de sistema son los sistemas Oper@ de ALAVA ingenieros [6].

Consiste en numerosas estaciones de medida de ruido, de precisión tipo 1 o tipo 2, conectadas automáticamente a un ordenador central, el cual gestiona, almacena y permite visualizar los datos, al tiempo que presenta características y capacidades únicas, tales como:

- Gestión de puntos de medida ilimitados.
- Escucha de audio en tiempo real a través de la red (Audio Streaming).

- Comunicación en tiempo real con las estaciones.
- Reconocimiento automático de fuentes de ruido.
- Disparo de alarmas.
- Envío de mensajes SMS, correos electrónicos, etc.
- Visualización de imágenes en tiempo real (Video Streaming).

Este sistema está diseñado principalmente según los requerimientos de la Directiva Europea 2002/49/CE, transpuesta en la Ley de Ruido 37/2003. Está compuesto por estaciones perfectamente integradas en el entorno urbano, que transfieren los datos almacenados mediante línea telefónica, WiFi, GSM, etc... Los datos medidos se transfieren a un servidor central para su posterior procesado, análisis, archivo o publicación.

Una de las grandes ventajas del sistema Oper@ son las amplias posibilidades de conexión entre las estaciones de medida y el servidor central.

El sistema se completa con un completo paquete de software que permite:

- Gestionar el sistema de medida. Cada estación puede tener una configuración diferente.
- Visualizar los datos gráficamente.
- Procesar los datos de acuerdo a la legislación vigente.
- Comunicar los resultados a los responsables y/o decisores.
- Publicar los resultados en Internet.
- Exportar los resultados a un Sistema de Información Geográfica (S.I.G.).

Estaciones Oper@-EX

Está diseñada para ser unidad fija, pero puede moverse fácilmente a otros puntos, de forma que el sistema es relativamente portátil y puede ser considerada como una estación cuasi-móvil dependiendo del objeto de estudio. La figura 4 muestra el aspecto de esta estación:



Figura 4. Estación Oper@-EX [7]

Esta estación permite:

- Medir todos los parámetros relevantes según la normativa internacional (Leq, espectro en 1/3 de octava, índices estadísticos, etc.).
- Grabar la señal de audio para re-escucha o para identificar fuentes de ruido.
- Disparar acciones específicas cuando ocurre un determinado evento sonoro (codificar fuentes, mandar alarmas, disparar salidas eléctricas, etc.).
- Almacenar archivos de medida durante amplios periodos de tiempo.
- Transferir archivos de medida empleando el sistema de comunicación más indicado.

Ha sido diseñada de tal forma que el impacto visual y sobre el mobiliario urbano sea mínimo. Además, la unidad es resistente a las agresiones climáticas (temperatura, lluvia, etc.) al tener grado de protección IP55. Viene con un trípode de 4 metros y sistemas de fijación dependiendo de las necesidades del proyecto.

Las funciones principales que hacen de la estación Oper-EX una unidad “inteligente” son las siguientes:

- Tipo 1 según IEC 61672-1.
- Almacenamiento en paralelo de indicadores: LAeq, Lp (Fast, Slow, Impulso en ponderación A- B- C- Z), LCpico, 1/3 octavas 12.5 Hz a 20 kHz..., etc.

- Almacenamiento de datos cada 1s ampliable hasta 60s.
- Indicadores especiales: Leq deslizante, Dosis Leq (también seleccionables para configuración de disparos).
- Uno o dos canales.
- Rango dinámico 22-140 dBA.
- Grabación de señal en formato mp3 (opcional).
- Micrófono de intemperie con calefactor/desecador incorporado.
- Almacenamiento en memoria RAM o tarjetas CF.
- Alertas en tiempo real: e-mails y mensajes SMS.
- Batería auxiliar en caso de fallo de tensión.
- Sincronización de datos adquiridos mediante receptor GPS incorporado.

Estaciones Oper@-RF

Las estaciones Oper@-RF tienen las mismas características que las estaciones Oper@EX, pero su protocolo de transmisión de datos está basado en Radio Módem.

La estación EX (servidor de área) recogerá los datos de sus estaciones RF asociadas, enviándolos al ordenador central junto con sus propias mediciones. Los datos enviados desde las estaciones RF son procesados por el software de la misma forma que los datos procedentes de las estaciones EX.

Hasta 10 estaciones RF pueden asociarse a una estación EX. Esto permite ampliar con un bajo coste la red de monitorización y disponer de un mayor número de datos para la mejor definición de una situación acústica concreta.

Las estaciones RF tienen un tamaño cercano a los 20 cm, por lo tanto su instalación es muy cómoda. Además pueden incluirse una o dos baterías internas que dan cobertura de hasta 16 horas de medición ininterrumpida.

La movilidad es la característica más importante de las estaciones RF, pudiendo ser empleadas en medidas de corta duración (8 h) o para el estudio a detalle de la situación cercana a una estación EX.

El aspecto de esta estación es el de la figura 5:



Figura 5. Estaciones Oper@-RF [8]

Un sistema específico para medir el ruido en aeropuertos es el monitor NA-37 de RIÓN, cuyo aspecto es el de la figura 6:



Figura 6. Monitor NA-37 [9]

Esta estación es de tamaño reducido y aunque está diseñada como sistema fijo de aeropuertos, también puede ser móvil. Las medidas se rellenan automáticamente y continuamente 365 días al año suportando todas las condiciones meteorológicas.

Un ejemplo de configuración de un sistema de monitoreo de ruido en un aeropuerto usando esta estación sería el como muestra la figura 7:

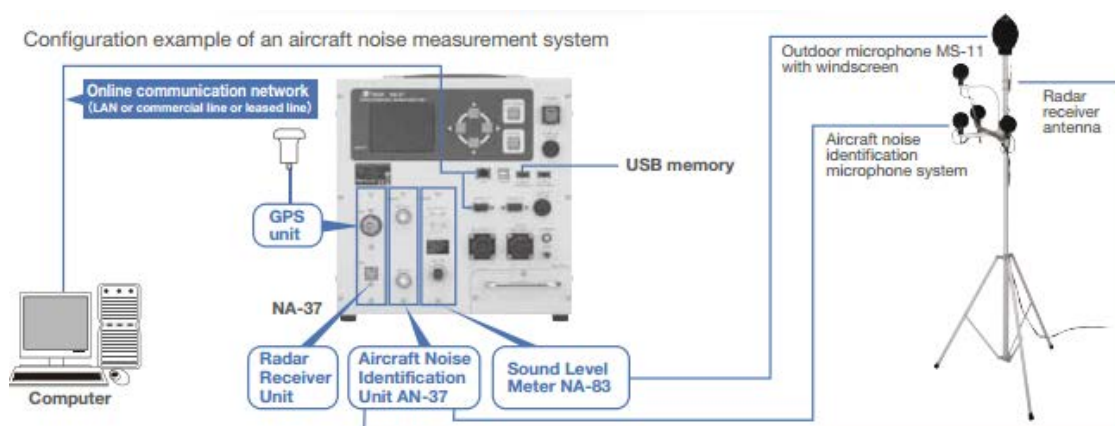


Figura 7. Ejemplo de configuración [10]

En la figura 7 se observa como el monitor que es donde se registra la información está conectado a un ordenador que actuará como servidor, por otra parte se conectan unos micrófonos exteriores con protector anti viento, un sistema de micrófonos para identificar el ruido aéreo y una antena receptora del radar. También contiene una entrada para conectar sistema GPS y otra para un sistema de almacenamiento USB para extraer datos.

Este sistema es compatible con los siguientes productos:

- Sonómetro integrador NA-83 de clase 1 de RION.
- Micrófono de exterior MS-11 con protector anti viento WS-13.
- Unidad de identificador ruido en aeropuertos AN-37/37R. Identifica la dirección de llegada de cada fuente sonido entrante. La distancia entre los micrófonos de identificación es solo 25 cm lo que permite una fácil instalación. AN-37R mejora la identificación añadiendo ondas de radio SSR. También puede calcular el número de aviones en funcionamiento.
- Según si es móvil o fijo se puede añadir opcionalmente una maleta o un trípode hasta 4 metros.

Características del sistema.

- Gran capacidad de almacenamiento de datos gracias a su memoria interna.
- Transferencia de datos via LAN.
- Se pueden transferir datos a sistema UBS (opcional).

- Se puede usar sistema GPS (opcional) para corrección automática de tiempo y adquisición de posible información usando el móvil.
- Grabación de sonido en tiempo real mediante el programa NX-37WR (opcional de fábrica) el cual permite grabar en dos formatos: comprimido para largos periodos de grabación y PCM para análisis.
- Pantalla a color LCD que proporciona gran visibilidad desde el exterior.
- Backup de baterías para continuar las operaciones cuando haya un fallo en la alimentación del sistema.

Los usuarios del aeropuerto pueden consultar las condiciones del ruido en tiempo real y otros datos de varias estaciones NA-37 mediante puntos de información localizados en diferentes zonas del recinto. La conexión entre puntos de medida (NA-37), servidores y puntos de información se realiza usando una VPN (Virtual Private Network) que es una red que une los tres puntos intercambiando datos digitales con extrema rapidez. La información que recibe el usuario es similar a la dada por la aplicación WebTrack de AENA que se verá al final de este capítulo. El diagrama de configuración de este sistema es mostrado en la figura 8:

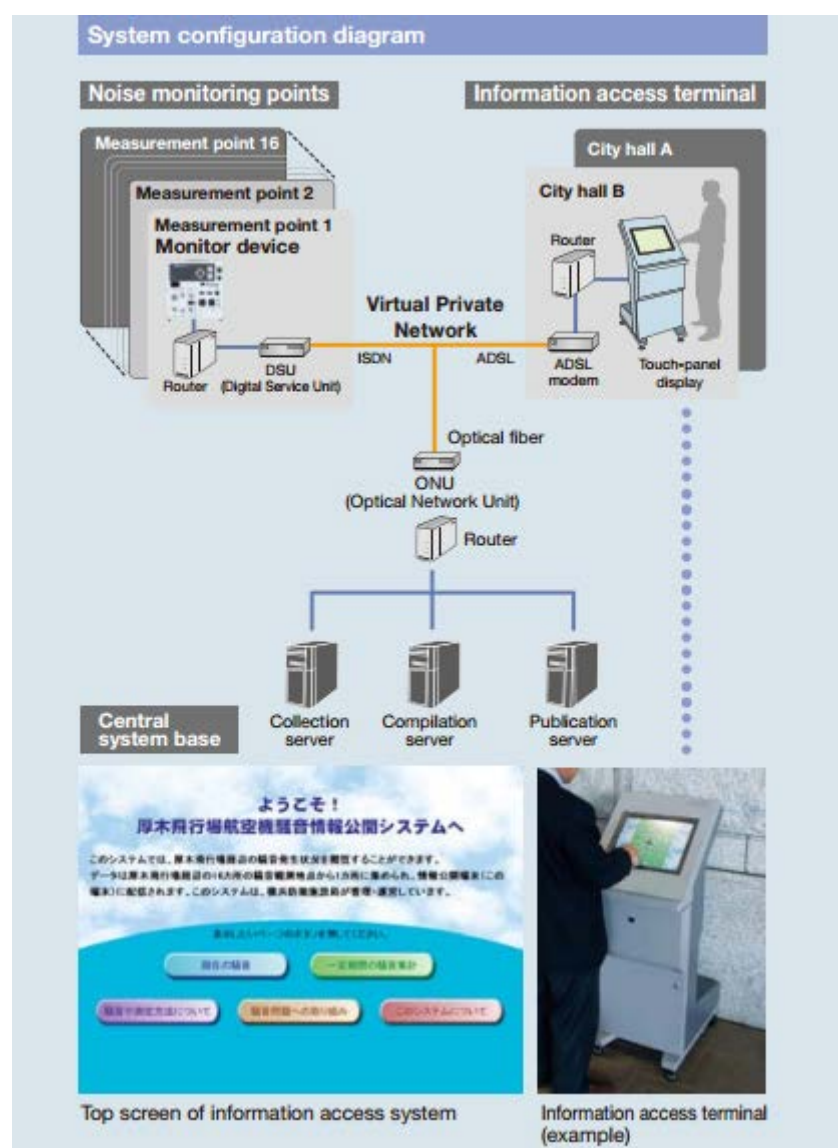


Figura 8. Ejemplo de configuración en aeropuertos [11]

1.2.2.2 Sistemas de monitorado portátiles

No son tan sofisticados y completos como los sistemas fijos pero permiten recolectar información sobre el ruido y dar informes acerca de su impacto.

Presentan las siguientes ventajas:

- Portabilidad: permite tomar medidas en diferentes localizaciones cómodamente, sin perder mucho tiempo entre cada toma de medidas. Además su carácter

portátil permite al sistema realizar medidas en emplazamientos de difícil acceso.

- Presentan una fácil y rápida instalación.
- Operan de manera independiente.

Tienen varios inconvenientes: estos sistemas usan baterías, por lo que su funcionamiento depende de la duración de estas a diferencia de los sistemas fijos. Estos últimos tienen sistemas de alarma y un sistema de baterías de reemplazo que empiezan a funcionar automáticamente ante un problema con la red de suministro de energía, lo que les permite estar operativos la mayor parte del año a diferencia de los sistemas móviles. Otro inconveniente es que normalmente no están tan protegidos ante condiciones atmosféricas extremas, por lo que su uso se reduce en ciertas localizaciones. Además no presentan un sistema de almacenamiento tan grande como los sistemas fijos ni su funcionalidad.

Características generales:

- Contienen generalmente micrófono de intemperie, sonómetro, cable, trípode y baterías.
- Permiten mediciones dependiendo de la duración de la batería interna y permiten almacenamiento de la información.
- Normalmente incluyen un software para su conexión a PC para controlar las medidas en tiempo real.
- Para las mediciones en el campo de la contaminación acústica usan el filtro de ponderación A.
- Proporcionan indicadores como Leq, LP y pueden almacenar esa información cada segundo.
- Permiten mediciones de 20 a 130 dB (A) aproximadamente.

En esta categoría se pueden tener sistemas como la Unidad Portátil de Monitorado de Ruido - 3655-A/B/C de Bruel & Kjaer [12].

El sistema se compone de un conjunto de equipos, una maleta de transporte, un equipo de medida portátil (sonómetro, analizador), micrófono de intemperie, cable de extensión

de micrófono, trípode para el montaje del micrófono en la posición y altura correcta cerca de la maleta, baterías...Cada sistema tiene su propio equipamiento, se va a proceder a analizar tres sistemas de Bruel & Kjaer para ver diferencias y similitudes entre ellos:

- **Unidad portátil de monitoreo 3655 - A:**

Unidad independiente basada en el sonómetro analizador 2250 Ligth. Mide niveles de banda ancha de uno o varios días. Mediante un software de control incluido (BZ-5503), el usuario puede controlar desde un PC las medidas en tiempo real y sincronizar los datos, por eso el sistema incluye espacio para un router o modem. Los datos aparte pueden ser transferidos a un software de procesamiento (Evaluator 7820) o pueden ser exportados a EXCEL.

Incluye licencias de sonómetro BZ-7130 y de registro BZ-7133 y se le puede añadir opcionalmente el módulo de analizador de frecuencias BZ-7132. Incluye el micrófono de intemperie 4952.

- **Unidad portátil de monitoreo 3655 - B:**

Es similar a la anterior (mismo sonómetro y software de control para el PC con las mismas características) pero aparte permite realizar un monitoreo avanzado, incluyendo detección automática de eventos, grabación de audio y calibraciones CIC automáticas.

Incluye la licencia de análisis en frecuencias BZ-7223, registro avanzado BZ-7225 y la opción de grabación sonora BZ-7226. Se pueden incluir licencias adicionales como análisis FFT BZ-7226. Incluye el micrófono de intemperie 4952.

- **Unidad portátil de monitoreo 3655 - B:**

Es un terminal profesional de monitoreo, es portátil para su integración en una red de monitoreo y gestión ambiental de ruido. Se basa en el analizador 2250 y tiene el software de monitoreo BZ-7232, está montado en una maleta portátil en lugar de la cabina montada en trípode/pared.

La funcionalidad del monitoreo de ruido incluye controles de calibración CIC y, de forma opcional, detección de eventos y grabación de audio. También incluye espacio para router, para la conexión con el usuario en tiempo real y

control remoto desde un PC mediante el software Enviromental Noise Management tipo 7843-S o el mismo pero en la versión “ligh” 7843-L.

Incluye las licencias de sonómetro BZ-7222 y de monitoreo de ruido BZ-7232.

Incluye el micrófono de intemperie 4952.

En la figura 9 se observa un ejemplo de uno de estos sistemas:



Figura 9. Sistema de monitoreo portátil [13]

Hay estaciones móviles en remolques de automóviles como las de la marca Topsonic que tienen paneles de energía solar. Lo que las permite funcionar más de medio año sin supervisión por parte del personal autorizado y sin fuentes de alimentación externa. El problema es que solo puede usar en determinadas regiones geográficas. La ventaja es el ahorro de energía y sus beneficios al medio ambiente. La figura 10 muestra un ejemplo de este tipo de estaciones:



Figura 10. Estación de monitoreo de ruido portátil [14]

En la figura 11 se presenta otro ejemplo sistema de monitoreo portátil de la marca Svantek, el modelo SV-211 [15]:



Figura 11. Estación SV-211 [16]

Tiene las siguientes características:

- Estación de monitoreo para ruido portátil protegida contra intemperie y condiciones ambientales para mediciones periódicas remotas.
- Ideal para monitorización de tiempos periódicos en línea de ruido, sitios de construcción, desarrollo de mapas de ruido, verificación de barreras de ruido entre otras aplicaciones ambientales.
- Mide ruido en un solo canal compatible con sonómetros Svantek modelo Svan 955/957/959, el cual es instalado en el interior del maletín equipado con batería y controlador.
- Capacidad para registrar señal de dominio en el tiempo e identificar eventos que alteran la medición.
- Análisis de 1/1 y 1/3 de octavas, Registro de datos avanzado y por medio de UBS, control de temperatura.
- Mástil para ajustar la altura del micrófono hasta 4 metros, Perfectamente ajustado y sellado para evitar daños en el equipo, posibilidad de integrar estación meteorológica para registrar condiciones climatológicas como presión, humedad, velocidad y dirección del viento.

- Funciona por medio de una batería recargable, por fuente de corriente DC con panel solar. Conexión GPRS, LAN o WLAN para transmisión de datos por medio del software SvanPC+ RC permitiendo la visualización remota de los datos. Permite funciones de alarmas incluso vía e-mail o mensajes de texto SMS.

1.2.3 Mapa interactivo de ruidos WebTrack

Aplicación creada por Brüel & Kjaer y usada por AENA, entre otros, en su red de aeropuertos entre los cuales están Madrid, Barcelona o Valencia. Se puede manejar por cualquier usuario desde cualquier ordenador con conexión a internet.

Es una herramienta de comunicación entre los aeropuertos y sus usuarios, proporcionando información útil sobre operaciones de los aviones y el ruido producido por estos. Desde casa y de manera sencilla, cualquier persona puede conocer el nivel de ruido que hacen los aviones que sobrevuelan los aeropuertos de Barajas (Madrid) y El Prat (Barcelona) entre otros. Además los interesados pueden conocer la distancia exacta a la que pasa un avión de cualquier lugar, por ejemplo, de su casa. Desde la propia aplicación Webtrak se puede enviar una queja o reclamación por los ruidos emitidos por alguna aeronave que haya operado en el aeropuerto consultado.

La herramienta permite a cualquier internauta visualizar, de una forma sencilla y accesible, el sistema de monitorización de ruido y sendas de vuelo (SIR) que recoge los datos de ruidos y trayectorias de las aeronaves expuestas en mapas de las proximidades de los aeropuertos más importantes del país.

Esta aplicación muestra información de las aeronaves de dichos aeropuertos: número de vuelo, tipo de avión, su altitud y trayectoria de vuelo programada, hacen un seguimiento de su recorrido representando con color rojo los aterrizajes, en verde los despegues y si tienen trayectoria desconocida en ámbar y posteriormente asocia este ruido generado por las mismas para que cualquier usuario vea que los niveles están dentro de los márgenes legales. Estos datos de ruido proceden de los Terminales de Monitorado de Ruido (TMR) ubicados en los municipios del entorno, mostrándolos sobre cartografía de la zona.

Con esta aplicación, se quiere facilitar a los habitantes de las poblaciones vecinas de un aeropuerto una información fiable y transparente de las operaciones aeronáuticas y de los niveles acústicos que éstas generan.

Este sistema es totalmente fiable, aunque determinados datos son proporcionados por seguridad con 30 minutos de retraso, por lo tanto no son a tiempo real. Los niveles de ruido pueden consultarse pasadas 24 horas y se pueden consultar hasta 45 días en su histórico si es en el aeropuerto de Valencia o 60 si es el de Madrid.

Los únicos requisitos que necesita un usuario para manejar esta herramienta son tener instalada la última actualización de Adobe Flash Player, Windows 98 o posterior, 128 MB de memoria RAM aunque es recomendable 256 MB y 500 Hz de procesador aunque es recomendable 1GHz.

En la figura 12 se observa el aspecto de dicha aplicación, se aprecia que es un pantallazo de un ordenador convencional, lo que da a entender la facilidad de acceder y usar este programa:

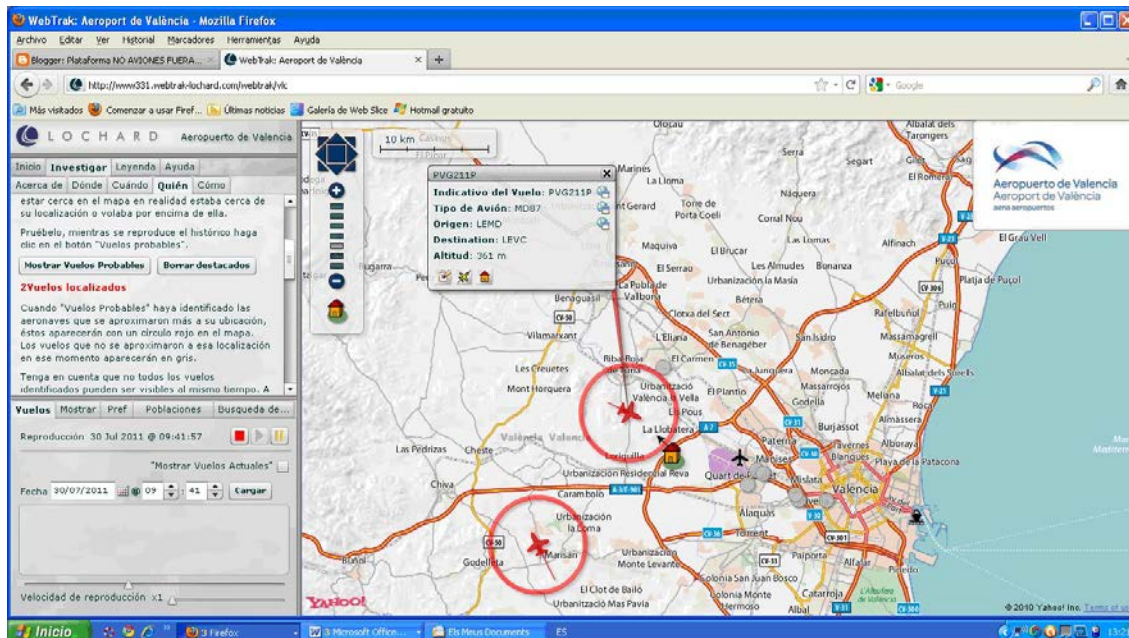


Figura 12. Aspecto de aplicación WebTrack [17]

1.2.4 Legislación de contaminación acústica y ruidos

En la actualidad la normativa que intenta controlar la contaminación acústica es muy amplia y diversa. Esta legislación se apoya en el uso de normas técnicas, desarrolladas por organismos internacionales que evalúan la calidad, como por ejemplo AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación), ISO (International Organization for Standardization), UNE (norma para el caso de España), etc. y que además se encargan de establecer unos criterios homogéneos, fiables y repetibles.

La legislación existente la podemos dividir según el ámbito de aplicación. Las normas sobre acústica pueden clasificarse en tres grandes grupos:

- **Normas de obligado cumplimiento:** Son aquellas emitidas por Ministerios o Ayuntamientos, y que afectan directamente a personas, sociedades, actividades o entidades implicadas en su actividad. Son normas que determinan la forma de realizar las medidas y señalan valores límites en las diversas actividades contempladas. En este grupo, estarían las ordenanzas municipales contra el ruido.
- **Normas de procedimiento:** Son las redactadas principalmente por organismos nacionales o supranacionales dedicadas a la racionalización y la normalización. Describen procesos para realizar medidas, así como las características de los equipos que las realizan. Un ejemplo de estas normas, son las normas ISO o las UNE.
- **Legislación programática:** Son dictadas por el estado y representan la legislación específica en determinadas materias, o muestra la política a seguir en temas concretos como el Medio Ambiente, o la Seguridad en el trabajo, etc.

Actualmente, todas las regulaciones del ruido de aviones a nivel estatal se encuentran representadas en la ley 37/2003, de 17 de noviembre [18], desarrollada a partir del real decreto 1367/2007. Dicha ley hace referencia a la zonificación acústica a la vez que se marca unos objetivos de calidad y de emisiones acústicas.

Así pues, referente a los aeropuertos se encuentran dichos objetivos de calidad a la vez que se persigue una limitación de las emisiones acústicas.

En primer lugar, en el artículo 21 se especifica que solo aquellos aviones de reacción subsónicos que hayan obtenido previamente una certificación acústica correspondiente a las normas establecidas por la OACI (Organización Aviación Civil Internacional) podrán ser usados en los aeropuertos civiles españoles.

Por otro lado, en el artículo 23 se disponen 4 puntos referentes a la limitación de inmisión de ruidos aplicables tanto a las infraestructuras aeroportuarias como a las viarias y ferroviarias.

En el punto 1,2 y 3 se establecen los valores límite de inmisión concorde a los valores expuestos en el anexo 3 de la ley, así como la necesidad de adoptar medidas para no transmitir dichos valores y respetar los valores establecidos. Por último, en el punto 4 se relata cómo utilizar los índices acústicos.

Aena está llevando a cabo la ejecución de Planes de Aislamiento Acústico (PAA). En particular, la ejecución de los Planes de Aislamiento Acústico, tiene como objetivo minimizar las molestias que ocasiona en el entorno de los aeropuertos el ruido producido por las aeronaves en sus operaciones de despegue, aterrizaje, rodadura, pruebas de motores, etc.

Dichos Planes de Aislamiento Acústico se ejecutan en aquellas viviendas y edificaciones de usos sensibles (docente, sanitario y cultural que requieran una especial protección contra la contaminación acústica), que estando incluidas dentro del área territorial del aeropuerto correspondiente, dispongan de licencia de obra con fecha anterior a la publicación en el BOE de la resolución que le sea de aplicación, con vistas a conseguir que en el interior de los citados inmuebles se cumplan los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable que se recogen en la tabla B del anexo II del Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, del Ruido, de 17 de noviembre, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

De forma resumida, la ejecución de los Planes de Aislamiento Acústico, supone la realización de las siguientes actuaciones:

- a. Inclusión de las viviendas en los citados planes.

- b. Medición del aislamiento acústico existente en dichas viviendas que permita determinar las necesidades de aislamiento suplementario.
- c. Redacción y aprobación del correspondiente proyecto de aislamiento acústico.
- d. Ejecución y verificación de la actuación.
- e. Pago de las actuaciones.

Hay que indicar que estas actuaciones se caracterizan por integrarse en un procedimiento en el que participan activamente tanto los interesados como las administraciones más próximas a la población.

2 OBJETIVOS

Implementar un prototipo de sistema de monitorado de ruido de aeropuerto en tiempo real, que efectúe mediciones de ruido y sea capaz de detectar los eventos sonoros provocados por las aeronaves. El sistema de monitorado estará compuesto de un ordenador portátil, una tarjeta de sonido externa de dos canales, dos micrófonos y un software donde se recogerán las medidas y realizarán las operaciones pertinentes: detectar, clasificar y evaluar eventos. La implementación del software se hará sobre un ordenador portátil usando un entorno de programación LabVIEW. Como sistema de adquisición de datos se utilizará una tarjeta de sonido externa utilizando dos micrófonos AKG de condensador.

Va a ser un sistema bicanal, porque se desea obtener datos en el exterior y en el interior de una vivienda. Los datos del exterior sirven, por una parte porque es lo tradicional, y por otra porque es más fácil discriminar fuentes a partir de este dato. El dato del interior de la vivienda es verdaderamente el ruido al que están expuestas las personas. Dicho esto el sistema se probará en localizaciones exteriores e interiores con diversas fuentes de ruido.

El sistema diseñado debe ser de uso tanto fijo como portátil argumentando los usos y características de uno y otro tipo.

El sistema se formará con dos módulos totalmente independientes: un módulo de adquisición de datos y otro módulo de consultas relacionados por una base de datos.

El sistema detectará eventos a partir de la evolución temporal de la medida adquirida mediante unas consultas realizadas en el módulo de consultas por un usuario. Esos eventos se numerarán, remarcará su intervalo temporal, su duración y se evaluarán mediante el descriptor de ruido Nivel de Exposición Sonora y un valor de correlación en una tabla de resultados. Paralelamente el sistema devolverá varias gráficas de todo el tiempo de medida consultado con los eventos marcados si los hubiera.

El manejo de la interfaz del usuario implementada será sencillo y práctico y apto para todo tipo de públicos.

3 METODOLOGIA

En este apartado se explicará la metodología usada a la hora de desarrollar el programa, primero se hará una definición del equipo usado, a continuación una descripción de la arquitectura general del sistema y por último se profundizará en la interfaz a manejar por el usuario del software. A lo largo del capítulo se propondrán explicaciones teóricas o prácticas según proceda, de todo lo necesario para el correcto funcionamiento y comprensión del sistema.

3.1 Equipo usado

El equipo de medida estará formado por: portátil más software de medida, tarjeta de sonido externa y dos micrófonos de condensador:

- **Portátil con las siguientes características:**
 - Procesador: Intel (R) Core (TM) i5-3210M CPU @ 2.50GHz.
 - Memoria instalada (RAM):4,00 Gb (3,88 Gb utilizable).
 - Tipo de sistema: sistema operativo 64 bits, procesador x64.
 - Edición de Windows: Windows 8 Pro.
- **Software de Desarrollo de Sistemas NI LabVIEW 2013 (32 bits) de National Instruments con las siguientes Toolkit:**
 - Toolkit Sound and Vibration 2013 de National Instruments.
 - Toolkit Database Connectivity 2013 de National Instruments.
- **Tarjeta de sonido externa Lexicon LAMBDA STUDIO** con las siguientes características: alimentada por USB, 2 entradas de micrófono XLR con alimentación phantom, 2 entradas de línea, 1 entrada de instrumento, capacidad de grabar dos señales de forma simultánea, 2 puntos de inserción, 2 salidas de línea, entrada/salida MIDI, 1 salida de auriculares estéreo 3,5 mm, monitorización directa.
- **Microfonía [19]:**
 - **Micrófono AKG C1000S** con las siguientes características :
 - Patrón polar: cardioide o hipercardioide.
 - Rango de frecuencia: 50 a 20.000 Hz.

Sensibilidad: 6 mV / Pa (-44 dBV).

Max. SPL: 137 dB (k = 1%).

Nivel de ruido equivalente (IEC 60268-4): 32 dB.

Relación señal/ruido (A-ponderada): 73 dB.

Impedancia: 200 ohms.

Impedancia de carga recomendada: ≥ 2.000 ohmios.

Tensión de alimentación: 9 a 52 V de alimentación phantom, según DIN 45596 o interna batería de 9 V (6F 22).

Alimentación: aproximadamente 2 mA.

Conector: XLR de 3 pines.

Peso neto: 320 g / oz 11.3.

- **Micrófono AKG PERCEPTION 150** con las siguientes características:

Patrón polar: cardioide.

Rango de frecuencia: 50 a 20.000 Hz.

Sensibilidad: 12 mV/Pa (- 38.5 dBV - 3dB).

Max. SPL: 135 / 145 dB SPL (0 / -10 dB) para 0.5% THD.

Nivel de ruido equivalente (IEC 60268-4): < 21 dB.

Relación señal/ruido (A-ponderada): 73 dB (re 1 Pa).

Conmutador atenuación: a -10 dB (conmutable).

Impedancia de carga recomendada ≥ 1000 ohms.

Tensión de alimentación: 48 V phantom según DIN 45596/IEC 268-15.

Alimentación: ≤ 2 mA.

Conector: XLR de 3 pines.

Peso neto: 130 gramos / 0.29 lb.

- **Dos cables 2 Canon XLR micrófono macho a hembra con 6 metros cada uno.**

Aparte del equipo de medida se usará para calibrar y medir la precisión del equipo un sonómetro CESVA SC-20e de tipo integrador – promediador tipo 1.

3.2. Arquitectura de programación general del sistema

El objetivo de este apartado no es describir someramente el código fuente usado en la programación, sino detallar el funcionamiento del programa. Antes es necesario explicar a grandes rasgos que es LabVIEW y que es un VIs o instrumento virtual ya que más adelante se usará ese término asiduamente.

3.2.1 Introducción a LabVIEW y definición de VIs

LabVIEW constituye un entorno de programación gráfica para aplicaciones que involucren adquisición, control, análisis y presentación de datos. Las ventajas que proporciona el empleo de LabVIEW se resumen en las siguientes:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas. Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos. El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

LabVIEW es un entorno de programación desarrollado por National Instruments destinado al desarrollo de aplicaciones, similar a los sistemas de desarrollo comerciales que utilizan el lenguaje C o BASIC. Sin embargo, LabVIEW se diferencia de dichos programas en un importante aspecto: los lenguajes de programación anteriores se basan en líneas de texto para crear el código fuente del programa, mientras que LabVIEW emplea la programación gráfica o lenguaje G para crear programas basados en diagramas de bloques.

LabVIEW posee un gran número de librerías de funciones y subrutinas. Además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, LabVIEW incluye librerías

específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB y comunicación serie, análisis presentación y guardado de datos.

LabVIEW también proporciona potentes herramientas que facilitan la depuración de los programas.

Los ficheros generados con LabVIEW se llaman **Instrumentos Virtuales (VIs)** llamados así porque su apariencia y comportamiento simula a instrumentos físicos, como osciloscopios o multímetros. Los VIs utilizan funciones que manipulan las entradas del usuario o datos provenientes de otras fuentes y muestran la información procesada o la pasan a ficheros u otros ordenadores.

Es muy importante decir que los VIs se tratan de manera independiente, es decir, un VI creado por un usuario en un proyecto puede ser usado por otra persona en otro diferente. En este programa como se verá más adelante se han cogido VIs de dos toolkit de Nationals Instruments ya programados anteriormente. De la misma forma un VI creado en este proyecto podría ser usado en otro distinto. Es una de las principales ventajas de usar LabVIEW. Cabe decir que todos los VIs cogidos del exterior se han usado legalmente ya que el autor dispone de una licencia oficial de National Instruments suministrada por la Universidad Politécnica de Madrid.

3.2.2 Arquitectura del sistema de monitorado

El sistema de monitorado tiene el siguiente diagrama general mostrado en la figura 13:



Figura 13. Diagrama general del sistema

La configuración general es la siguiente: dos micrófonos conectados a dos canales de la tarjeta de sonido externa por sus dos entradas de línea (AKG PERCEPTION 150 al canal 1 y AKG C1000S al canal 2). La tarjeta de sonido externa conectada al PC mediante el bus estándar de conexión USB. En el ordenador se dispone del programa creado en el entorno LabVIEW.

Se utilizará una tarjeta de sonido externa porque el ordenador portátil disponible solo posee una entrada de micrófono y al ser el sistema bicanal se requieren dos entradas.

El sistema programado en LabVIEW tiene dos módulos principales: módulo de adquisición de datos y módulo de consultas. Ambos módulos son independientes, el funcionamiento de uno no implica el del otro aunque también pueden operar conjuntamente.

3.2.2.1 Módulo de adquisición de datos

El objetivo de este módulo es leer los datos adquiridos por los micrófonos conectados a la tarjeta de sonido y posteriormente almacenarlos en una base de datos tras realizar una serie de operaciones sobre ellos. La medición del sonido se realiza mediante un registro continuo de mediciones cortas (habitualmente 1 segundo) y consecutivas, que permiten evaluar la evolución del nivel sonoro en decibelios.

El micrófono al ser un transductor acústico-eléctrico permite convertir la energía acústica en señal eléctrica (variaciones de voltaje) que será la reconocida por el programa. Una vez adquiridos los datos se almacenan (o encolan) en una estructura de datos llamada cola, para poder almacenar un número ilimitado de estos. Posteriormente estos datos salen de la cola (se desencolan) y se obtiene de forma independiente y paralela dos variables: valor Leq (dB) de cada medida tomada por segundo para cada canal y coeficiente de correlación entre ambos canales tomados segundo a segundo. Por último se almacenan estos datos junto a una fecha/hora en tiempo real para cada dato por segundo adquirido y una posición a definir por el usuario en una base de datos.

El diagrama de bloques de este módulo es el mostrado en la figura 14:

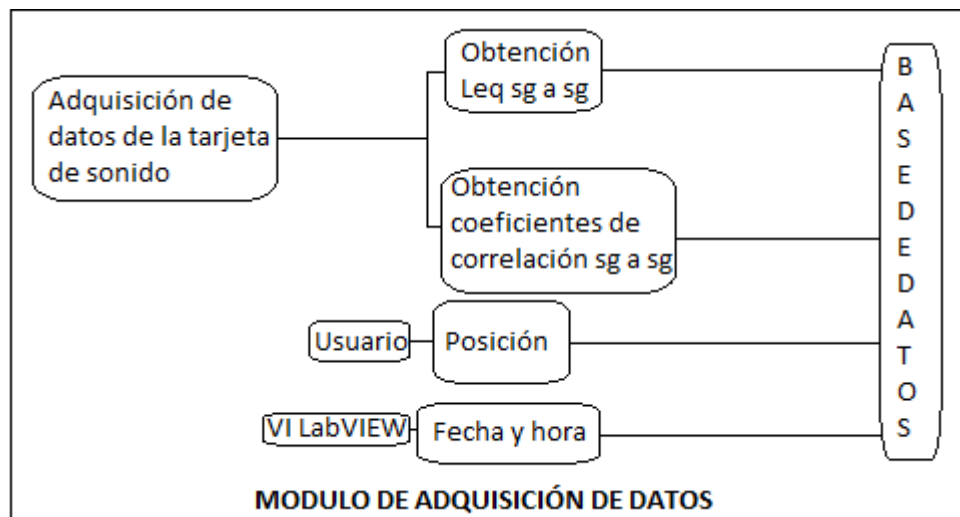


Figura 14. Diagrama general módulo de adquisición de datos

Este módulo se divide en varios sub-módulos: un módulo de adquisición de datos (configuración y lectura de la tarjeta de sonido), un módulo de obtención de Leq, módulo de correlación y un módulo de almacenamiento en base de datos.

- **Módulo de adquisición de datos:** encargado de leer los datos provenientes de la tarjeta de sonido. Se implementa de la siguiente manera: se usan dos VIs de LabVIEW llamados “Sound Input Configure” y “Sound Input Read”.

- **Sound Input Configure:** antes de la lectura se procede a la configuración del dispositivo de entrada (en este caso la tarjeta de sonido externa) mediante los siguientes parámetros:
 - **Id de la tarjeta de sonido:** el valor seleccionado representa la tarjeta de sonido reconocida en el ordenador. Por defecto se elige el valor 0.
 - **Muestras a leer por canal:** especifica el número de muestras por canal en el buffer de memoria. Las muestras a adquirir por bloque son 44100 por lo que adquirimos 1 segundo de señal en cada ciclo al coincidir con la frecuencia de muestreo.
 - **Número de canales:** este valor informa sobre el número de canales a usar en un proyecto en LabVIEW. En este caso al ser un sistema bicanal el valor será dos.
 - **Frecuencia de muestreo (Muestras/Sec):** se elegirá la frecuencia estándar de 44100 Hz para que coincida con el valor elegido en el parámetro “muestras a leer por canal”, así se logra adquirir los datos segundo a segundo.
 - **Bits por muestra:** Se refiere al número de dígitos binarios, 1 y 0, que componen cada muestra. En este sistema se utilizan 16 bits por muestra.
- **Sound Input Read:** lee los datos segundo a segundo del dispositivo de sonido de entrada una vez configurado y los carga en el software de LabVIEW almacenándolos en una cola de datos.
- **Módulo de obtención de Leq:** el objetivo de este módulo es convertir los valores de tensión adquiridos segundo a segundo en valores Leq (dB) o nivel continuo equivalente.

Nivel sonoro continuo equivalente (L_{eq}): es el nivel de energía sonora que tendría un ruido constante en el mismo periodo de tiempo que el ruido medido. Representa la energía sonora que contiene el ruido en un determinado tiempo. Su fórmula matemática es la siguiente:

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_1} \left(\frac{P_i(t)}{P_o} \right)^2 dt \right] [20]$$

$T = (t_1 - t_0)$ periodo de medición.

$P_i(t)$ = presión sonora instantánea.

P_o = es la presión de referencia (20 μ Pa).

Si esta medida se realiza en dBA la expresión utilizada para el L_{eq} , es de LA_{eq} o bien LA_E .

Este módulo se implementa usando un VI de la Toolkit Sound and Vibration 2013 de National Instruments llamado “SVL Running Leq Sound Level (Sound and Vibration Measurement Suite)” que calcula el valor Leq (dB) de los datos entrantes. Al desencolarse, los datos de tensión almacenados en la cola entran a este VI saliendo en formato dB. Esta operación se realiza para el canal 1 y el canal 2, obteniendo valores de Leq para ambos canales de forma independiente.

- **Módulo de correlación:** encargado de calcular los coeficientes de correlación de los datos adquiridos segundo a segundo entre ambos canales. Posteriormente a partir de estos coeficientes, en el módulo de consultas (sub-módulo de detección de eventos) se obtendrá un solo valor que dará el grado de similitud de la señal captada por ambos micrófonos.

Coefficiente de correlación: es una medida estadística que mide el grado de relación lineal entre dos variables, en este caso la relación existente entre la señal captada por el micrófono de un canal y el micrófono del otro.

Este coeficiente de correlación (r) toma valores entre el intervalo $[-1$ y $1]$ siendo [21]:

- Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada relación directa: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.
- Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva.

- Si $r = 0$, no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.
- Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.
- Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada relación inversa: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

La implantación de este módulo es mediante un VI de LabVIEW llamado “Correlation Coefficient”, el cual calcula el coeficiente de correlación a partir de los valores de tensión del canal 1 y canal 2. Paralelamente al módulo de obtención de Leq, los datos de tensión del canal 1 y del canal 2 al salir de la cola entran a este VI obteniendo a su salida el coeficiente de correlación entre ambos canales.

- **Módulo de almacenamiento en base de datos:** el objetivo de este módulo es almacenar en una base de datos los siguientes valores:
 - Columna 1: posición elegida por el usuario que generalmente indicará la localización donde se esté realizando la adquisición.
 - Columna 2: un valor de fecha y hora por cada segundo de adquisición, desde del momento en que se empieza a realizar la adquisición hasta que se termina.
 - Columna 3: valores Leq canal 1 calculados en el módulo de obtención de Leq.
 - Columna 4: valores Leq canal 2 calculados en el módulo de obtención de Leq.
 - Columna 5: valores de coeficientes de correlación obtenidos en el módulo de correlación.

La base de datos a utilizar es Access y el aspecto de esta después de una adquisición cualquiera es mostrado en la figura 15:

DatosAdquiridos				
Posicion	FechaYHora	LevelCh1	LevelCh2	CorrelationCh1Ch2
Burgos	2014-07-31 10:03:36.67587	58,0096477077364	46,3392637266021	0,110387764812043
Burgos	2014-07-31 10:03:37.83239	40,001536008141	45,8677955221788	0,639057595594239
Burgos	2014-07-31 10:03:38.68382	39,2569952074925	45,5602196251947	0,657460184647841
Burgos	2014-07-31 10:03:39.68203	67,3966247987025	56,9563790711815	6,93961767414243E-02
Burgos	2014-07-31 10:03:40.67575	80,4875594700258	52,2162217788636	0,188384849614582
Burgos	2014-07-31 10:03:41.68309	88,5832248751884	87,99324622734	0,859515348263615

Figura 15. Aspecto de base de datos Access después de adquisición

En la figura 15 se observa: una columna posición a definir por el usuario, Fecha hora de la adquisición, Leq del canal 1, Leq del canal 2 y coeficiente de correlación entre ambos canales.

La implementación de este módulo es la siguiente: se utilizan 3 VIs de la Toolkit Database Connectivity 2013 de National Instruments:

- “DB Tools Open Connection”: VI que se encarga de abrir la base de datos a la que está conectada en su entrada.
- “DB Tools Insert Data”: VI que se encarga de almacenar los datos conectados a su entrada una vez que la base de datos está abierta.
- y “DB Tools Close Connection “: VI que cierra la base de datos una vez se ha rellenado con los datos provenientes de “DB Tools Insert Data”.

Los datos de Leq canal 1, Leq canal 2 y coeficientes de correlación a la salida de cada módulo correspondiente entran a la base de datos y se almacenan mediante estos tres VI. La fecha y hora de adquisición es generada en tiempo real por el VI de LabVIEW “Get Date/Time In Seconds” y se introducirá directamente a la base de datos cuando el usuario realice la adquisición. El control posición es un controlador tipo string que a partir de un bus se escribe directamente en la base de datos cuando el usuario decida comenzar a adquirir.

3.2.2.2 Módulo de consultas

El objetivo de este módulo es que partir de la base de datos obtenida en el módulo de adquisición de datos, un usuario pueda consultar por fecha/hora y posición intervalos de

tiempo de medida. De estos intervalos y en base a unas características de configuración se obtendrán eventos sonoros y se clasificarán y evaluarán: se numerarán, se añadirá su duración e intervalo de medida, se calculará su valor Nivel de Exposición Sonora o SEL, un valor único de correlación y se presentarán los resultados en una tabla. Paralelamente el sistema devolverá, detecte o no eventos, tres gráficas (Leq canal 1, Leq canal 2 y coeficientes de correlación) de todo el espacio de tiempo consultado. Si el sistema detecta eventos aparecerán marcados en dichas gráficas, si no detecta, el sistema devolverá la tabla de resultados en blanco y las tres gráficas referidas anteriormente sin eventos marcados.

El diagrama general de bloques es el mostrado en la figura 16:

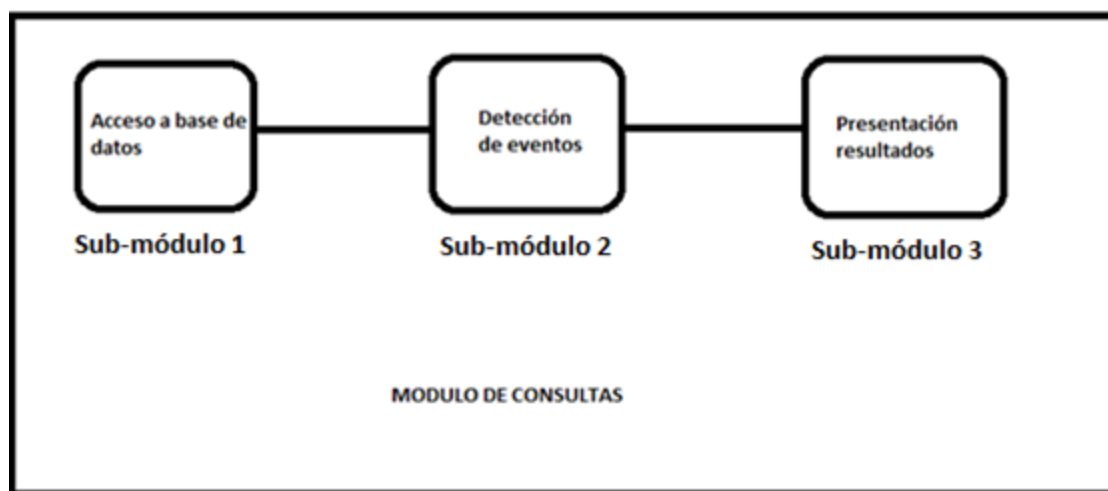


Figura 16. Diagrama de bloques módulo de consultas

El módulo de consultas está compuesto de tres sub-módulos principales: módulo de acceso a base de datos, módulo de detección de eventos y módulo de presentación de resultados.

- **Módulo de acceso a base de datos:** el objetivo de este módulo es acceder a la base de datos creada en el módulo de adquisición y obtener un tiempo de medida en base a una consulta realizada por un usuario respecto a dos parámetros: fecha/hora y posición.

La posición es la primera columna de la base de datos y el parámetro fecha/hora la segunda (ver Figura 15)

Este módulo está implementado por un VI elaborado por el autor. Cuando un usuario realiza una consulta en la interfaz del programa pulsando botón hacer consulta, se activa este VI que mientras permanece latente. Posteriormente se accede a la base de datos mediante consultas SQL de posición y fecha/hora y se seleccionan todas las columnas de datos.

Por último el sistema decodifica la consulta seleccionada, extrayendo de forma independiente un array con los valores de cada columna (posición, fecha/hora, Leq canal 1, Leq canal 2 y coeficientes de correlación).

- **Módulo de detección:** el objetivo de este módulo es el siguiente: a partir del resultado obtenido en el módulo de acceso a base de datos, detectar si hay eventos en base a dos parámetros a elegir por el usuario:
 - **Ancho mínimo del evento (#muestras):** equivale a una determinada duración del evento.
 - **Umbral mínimo del evento (dB):** el nivel sonoro mínimo por encima del cual se podrá obtener eventos.

Posteriormente si hay eventos los clasifica y evalúa.

Este módulo está implementado en dos fases:

- **Fase de detección:** en base a los dos parámetros citados anteriormente, el sistema detecta eventos a partir del tiempo de medida obtenido en el módulo de acceso a base de datos.

El canal que detecta eventos es el canal 1. El canal 2 calculará sus valores a partir de los datos obtenidos por la detección del canal 1.

Un ejemplo de esto anterior: el canal 1 detecta un evento de seis muestras comprendidas en un determinado tiempo. Los cálculos en el canal 2 se harán a partir de las seis muestras de dicho canal que coincidan en el tiempo detectado por el canal 1.

En la figura 17 se representa el proceso de detección de eventos:

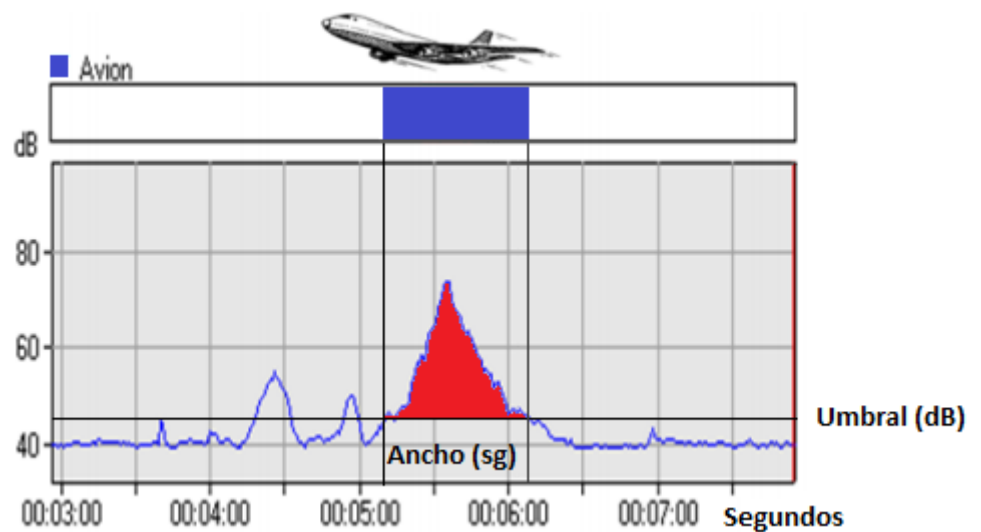


Figura 17. Detección eventos

El módulo de acceso a base de datos devuelve la siguiente consulta reflejada en la figura 17 de once segundos de duración donde se pretende detectar aviones.

Un usuario elige los valores de 1 segundo de ancho y 44 dB de umbral. El sistema detecta un evento (el paso de un avión) que cumple ambas condiciones en todo el tiempo de medida. El evento es el marcado en rojo y está comprendido entre el ancho de tiempo y por encima del umbral seleccionado. Para detectar un evento deben cumplirse conjuntamente ambas condiciones

Para implementar este proceso se utiliza el VI de LabVIEW “Threshold detector”. Este detecta picos de señal a partir de las condiciones dichas anteriormente (umbral y ancho de evento) y deja pasar dicha señal hasta que una de las dos condiciones deja de cumplirse. Solo afecta al canal 1. El tiempo de medida obtenido en el módulo acceso a base de datos del Leq canal 1 entra en este VI obteniendo, si los hubiera, eventos.

- **Fase de evaluación y clasificación del evento:** el/los eventos obtenidos se clasifican y evalúan mediante una serie de procesos.

Clasificación:

- **Tiempo:** se calcula el intervalo de tiempo donde ocurrió el evento. La implantación es extrayendo los datos de fecha/hora del array obtenido en el módulo de acceso a base de datos cuando este es detectado por el VI “Threshold detector”.
- **Orden:** los eventos se numeran según orden de aparición empezando por el valor 000. La implementación es con un contador inicializado a cero al que se le suma un valor +1 según evento detectado.
- **Duración:** se calcula la duración del evento. La implementación es con un algoritmo que detecta los ejes de bajada de la señal. Estos tiempos son tomados y restados al tiempo inicial. El tiempo inicial se calcula con los ejes de subida que cumpla el VI “Threshold detector”.

Evaluación: se calcula por evento su Nivel de Exposición Sonora y su correlación.

Según la norma UNE-ISO 1996 -1:2005 [22] los ruidos procedentes de sucesos aislados (como el paso de un avión, un camión o una explosión en una cantera), que son los a estudiar en este proyecto, se pueden caracterizar por el descriptor nivel de exposición sonora, LE o SEL.

Nivel de exposición sonora (SEL) o L_E : nivel de sonido constante en un segundo que tiene la misma energía que el ruido considerado en un periodo determinado de tiempo. Se mide de forma habitual en dBA.

La expresión matemática que lo define es:

$$SEL = \left[\frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L(t)}{10}} dt \right] = 10 \log \left[\frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{Pa(t)}{Po} \right)^2 dt \right] \quad [23]$$

T_0 = es la duración de referencia 1sg.

Po = es la presión de referencia.

$Pa(t)$ = presión sonora instantánea.

La implementación es mediante un VI elaborado por el autor en el cual entra un array con los valores de Leq canal 1 de cada evento resultante en la fase de detección y los suma logarítmicamente obteniendo un solo valor LE o SEL canal 1. Paralelamente se extrae del array obtenido en el módulo de acceso a base de datos los datos del canal Leq 2 que corresponden en el tiempo con los eventos detectados por el canal Leq 1 y de la misma forma al sumarse logarítmicamente se obtiene en base a la detección del otro canal el LE o SEL canal 2

Correlación: mediante los coeficientes de correlación obtenidos en la fase de detección se calcula un único valor que representara el grado de similitud de la señal captada por los micrófonos. Si es próxima a uno ambos micrófonos captaran prácticamente la misma señal. Si es próxima a cero, ambos micrófonos captaran señales diferentes.

La implementación es mediante un VI de LabVIEW llamado “Percentil”, el cual tiene como entrada el array con los coeficientes de correlación de cada evento detectado, obteniendo a su salida un único valor de correlación.

- **Módulo de presentación de resultados:** este módulo toma los eventos clasificados y evaluados en el módulo de detección, crea una tabla y los muestra en la pantalla de la interfaz del usuario. Paralelamente muestra las tres gráficas obtenidas en el módulo acceso a base de datos con el resultado de toda la medida consultada haya o no eventos.

- El sistema es fácilmente escalable, ya que añadir un nuevo puesto de medida no implica reestructurar todo el sistema, simplemente hace falta enrutar la base de datos que se esté usando.
- Puede existir un servidor que almacene todos los datos adquiridos por varios sistemas o cada sistema almacene el suyo o que un sistema almacene el de todos.

La interfaz del usuario se divide en tres pestañas: una de configuración del sistema tanto como para adquisición de datos como consultas, una de capturas para la adquisición de datos y otra para las consultas. En la parte de arriba están los botones generales para habilitar el sistema y un reloj que marca la fecha y hora del sistema en tiempo real. Los botones y el reloj siempre se verán en pantalla, independientemente de la pestaña seleccionada en cualquier momento. Cuando se ejecuta el programa en la parte de abajo a la derecha está el botón de detención del sistema. Este botón también aparece siempre independientemente de la pestaña que se encuentre seleccionada en ese momento.

Para arrancar la aplicación se pulsa el botón Run propio de LabVIEW, una vez empieza a ejecutarse la aplicación todos los controles a manejar por el usuario son los programados por el autor del proyecto, no se debe recurrir a mas botones propios de LabVIEW.

Una vez se ejecuta el sistema el aspecto de la pantalla cambia, quedando solo a la vista la interfaz creada.

3.3.1 Botones generales del sistema

Los botones generales del sistema son tres:

- **Habilitar Adquisición:** este botón habilita que el sistema empiece a adquirir datos, si esta pulsado el programa empezará a leer datos segundo a segundo. Si está deshabilitado el sistema no leerá nada de la tarjeta de sonido.

Aquí se demuestra que los módulos adquisición y consultas son independientes, si esta deshabilitada la adquisición de datos, el usuario puede hacer consultas de manera independiente mientras se ejecuta la aplicación. Si está habilitada, el usuario puede o no hacer consultas según necesidad. Podría darse el caso que mientras se ejecuta la aplicación solo se adquieran datos o solo se realicen consultas, o que se hagan ambas cosas.

- **Almacenar en Base de Datos:** este botón habilita el almacenamiento de datos en la base de datos Access. Para que funcione debe estar pulsado el botón Habilitar Adquisición, si el sistema no adquiere datos no se puede almacenar ningún valor. Si el botón almacenar esta pulsado se empieza a almacenar datos en el Access en el instante en que se pulse. Al desactivar el botón se dejará de almacenar. Este botón se puede activar y desactivar las veces que se quiera mientras se ejecuta el programa, almacenando datos cuando se crea oportuno. En la base de datos se registrará la fecha y hora desde que se pulso hasta que se deshabilito, es decir fecha y hora inicial y final de la adquisición pudiendo haber saltos temporales entre adquisiciones.
- **Parar Aplicación:** este botón controla al sistema, si se pulsa se detendrá la ejecución de la aplicación volviendo al instante inicial antes de pulsar el botón Run de LabVIEW. Los dos módulos de adquisición y consultas dejarán de funcionar.

Estos tres botones se muestran en la figura 19:

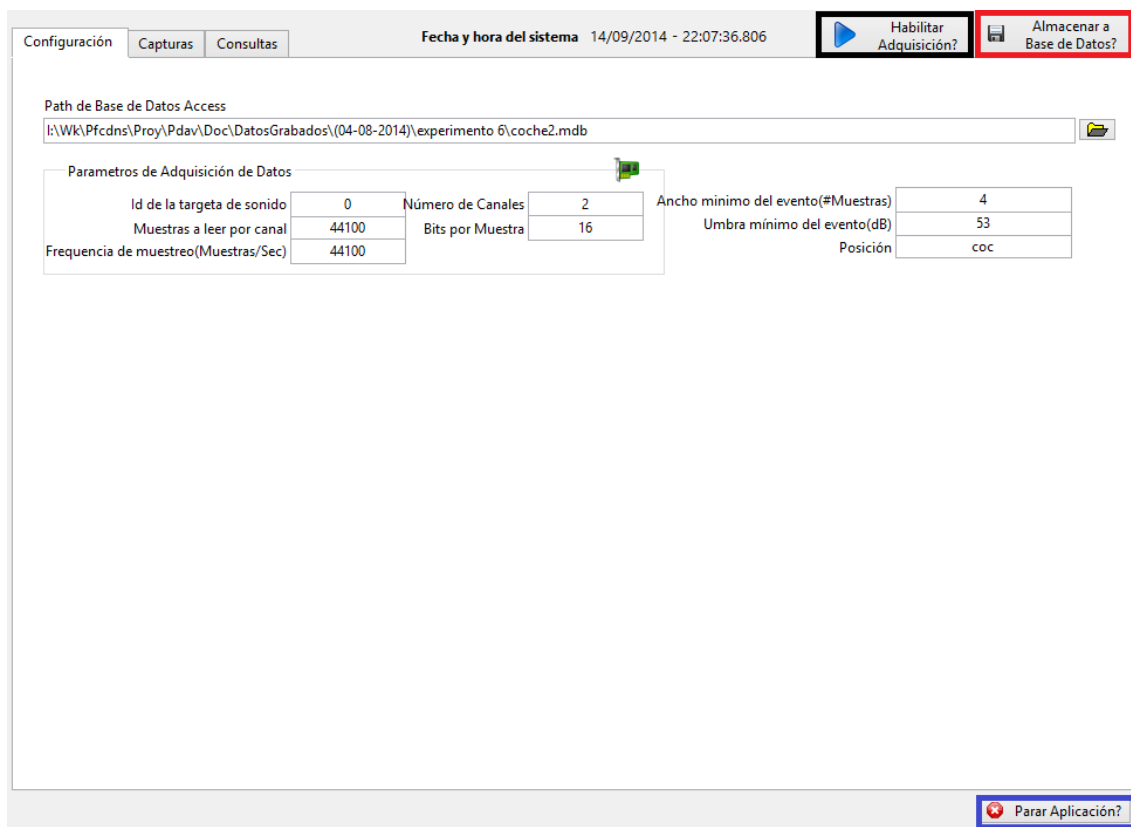


Figura 19. Botones generales del sistema

En la parte superior a la derecha está el botón Habilitar Adquisición (recuadro negro) y Almacenar Base de Datos (recuadro rojo). En la parte inferior derecha el botón Parar Adquisición (recuadro azul). En la parte de arriba entre las tres pestañas y el botón Habilitar Adquisición se observa el marcador de fecha y hora del sistema en tiempo real con el formato:

Día/mes/año – hora: minutos: segundos.centésimas.

3.3.2 Pestaña de Configuración

Esta pestaña es para configurar el sistema, se divide en cuatro partes: path de Base de Datos Access, parámetros de adquisición de datos, condiciones para obtener eventos en las consultas y marcador de posición.

El aspecto de la figura de la pestaña de configuración se muestra en la figura 20:

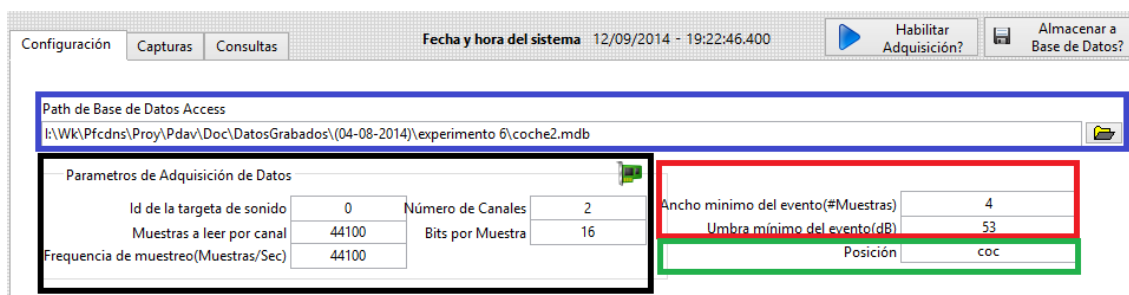


Figura 20. Aspecto general de la pestaña de configuración

Path de Base de Datos Access (recuadro azul)

Este es el lugar donde se conectan los módulos de adquisición de datos y consultas mediante base de datos Access. Hay dos opciones, adquisición o consultas:

- **Adquisición:** se puede introducir una base de datos creada previamente o crear una directamente. Para ambas opciones se pulsa el icono de la carpeta que aparece a la derecha del Path. Se abrirá el directorio del PC para que el usuario escriba el nombre de la base de datos a crear (esta se creará automáticamente en el lugar del directorio elegido) o elija una base de datos ya creada donde se almacenara a partir del último valor existente.

Esta es la base de datos donde se almacenará los parámetros adquiridos segundo a segundo de la tarjeta de sonido: posición, Leq por canal y coeficientes de correlación al habilitar el botón Habilitar Adquisición. Se dejarán de almacenar al deshabilitar este botón. Esta base de datos se podrá usar para futuras consultas o simplemente para almacenar información.

- **Consultas:** el usuario introduciría en el Path la base de datos a consultar y procedería como se verá más adelante en la pestaña consultas. Si el usuario primero adquiere datos, puede hacer consultas sobre esa base de datos usada previamente para adquirir, no tendría que introducirla de nuevo.

Este es otro ejemplo de la independencia de los dos módulos unidos por la base de datos Access, son dos operaciones totalmente independientes.

Esta base de datos está relacionada con el botón posición.

Marcador de Posición (recuadro verde)

Marcador importante a la hora de adquirir y consultar datos:

- **Adquisición de datos:** al adquirir datos el usuario escribirá el nombre de la localización, coordenada GPS etc. donde se realiza la adquisición. Si se tienen diferentes sistemas de monitorado en diferentes posiciones se tendrá que poder identificar cuáles de las medidas se han tomado en cada sitio. Soporta toda clase de formatos: nombres, números, símbolos...

En la figura 21 se muestra un ejemplo: en el recuadro negro el usuario eligió como posición Almería, y en el azul Huesca ya que en cada ciudad hay un sistema de monitorado para tomar esas medidas.

DatosAdquiridos				
Posicion	FechaYHora	LevelCh1	LevelCh2	CorrelationCh1Ch2
Huesca	2014-07-25 14:00	66,6988225441483	62,4595439044329	6,94885311671629E-02
Huesca	2014-07-25 14:00	64,864662419782	60,6903685302005	6,48354473687512E-02
Huesca	2014-07-25 14:00	57,7370891117207	53,4875910156607	7,59404626976997E-02
Huesca	2014-07-25 14:00	40,6045397097167	36,4856046449677	0,208554783879794
Huesca	2014-07-25 14:00	34,0996492682192	30,4190358253313	0,664200736709984
Almeria	2014-07-25 14:00	81,0664972054204	72,1966185250507	0,679665364444038
Almeria	2014-07-25 14:00	83,8783283937919	75,5381397590244	0,707294248517162
Almeria	2014-07-25 14:00	85,6457499007232	78,4307373381213	0,697642900807107
Almeria	2014-07-25 14:00	85,4336490722078	78,1401552754043	0,685737240603815

Figura 21. Ejemplo del uso del marcador de posición

- **Consultas:** al consultar el usuario pondrá en posición la localización, coordenada...donde quiere hacer la búsqueda sobre una base de datos ya creada que introducirá en el path explicado anteriormente. En el ejemplo de la figura 21 un usuario localizado en Almería con la base de datos anterior quiere buscar eventos en Huesca, el usuario escribirá en posición “Huesca”, seleccionara una fecha/hora y procederá como se dirá más adelante en la pestaña consultas.

Parámetros de Adquisición de Datos (recuadro negro figura 20)

Estos parámetros sirven para la configuración del sistema para adquirir datos, son cinco parámetros explicados en el módulo de adquisición de datos, los valores seleccionados son los siguientes quedando fijos en todo momento:

- **Id de la tarjeta de sonido:** valor 0 por defecto.
- **Muestras a leer por canal:** 44100.
- **Frecuencia de muestreo (Muestras/Sec):** 44.100 Hz.
- **Número de canales:** 2
- **Bits por muestra:**16

Condiciones para la obtención de eventos (ver recuadro rojo figura 20)

Son los valores a elegir por el usuario para detectar eventos sobre un tiempo de medida.

- **Ancho mínimo del evento (#muestras):** representa el número mínimo de muestras que deben superar un umbral. Equivale a una determinada duración de tiempo.
- **Umbral mínimo del evento (dB):** el umbral mínimo por encima del cual se podrá obtener eventos.

3.3.3 Pestaña de capturas

Esta pestaña muestra en tiempo real durante la adquisición de datos las gráficas de: señal eléctrica de entrada de los canales 1 y 2, el valor Leq de los canales 1 y 2 adquiridos segundo a segundo y el coeficiente de correlación de los canales 1 y 2 también adquiridos segundo a segundo. La siguiente figura 22 las tres gráficas cuando el sistema está parado:

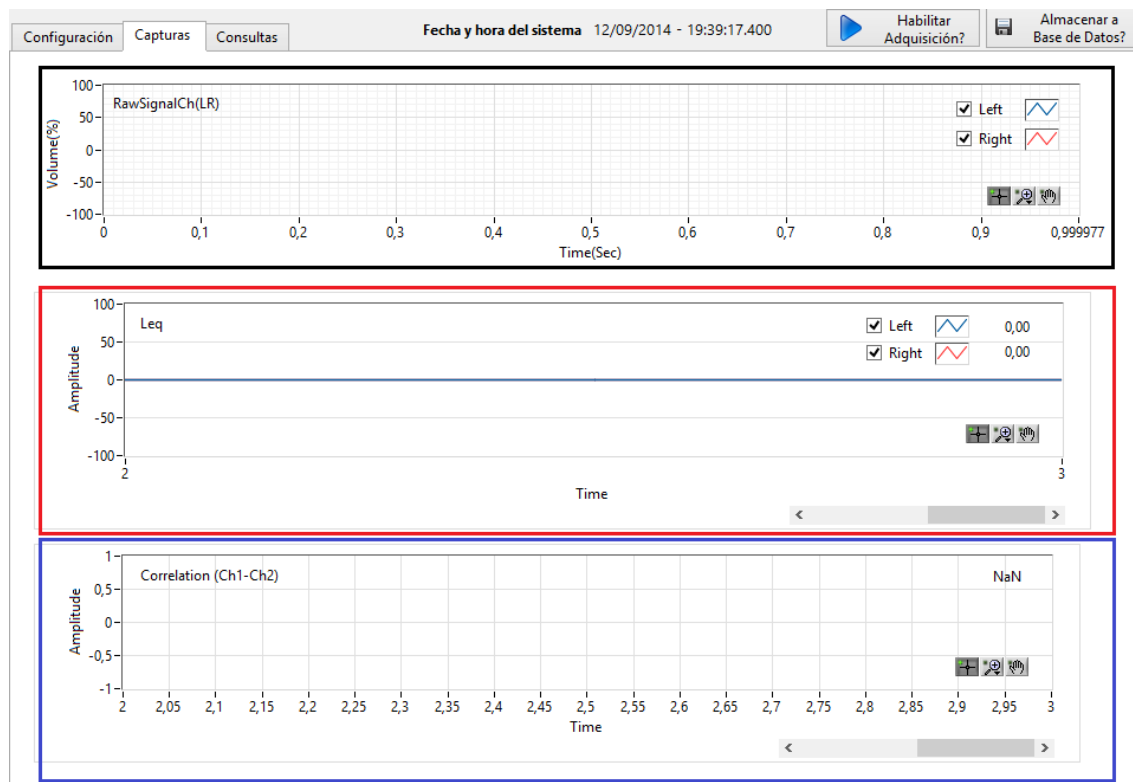


Figura 22. Pestaña de capturas con el sistema parado

Tipos de gráficas:

- La señal eléctrica de entrada (recuadro negro) muestra como es la señal directa que entra por los micrófonos de ambos canales al sistema, sirve para ver cómo es la forma de onda y visualizar posibles problemas con la señal de entrada como saturación. Se refresca segundo a segundo. El eje de las Y mide los valores de tensión de entrada (se puede ajustar escribiendo en la escala el valor necesario según se quiera visualizar) y el eje X mide el tiempo en segundos, su escala va de 0 a 1 al adquirir segundo a segundo. Esta gráfica no es acumulativa,

es decir, lee datos segundo a segundo sin mostrar los datos precedentes. El canal uno (Left) se representa con color azul y el canal 2 (Right) en rojo. El usuario puede elegir si quiere ver: canal 1, canal 2 o ambos dando un click al controlador Left o Right (ver figura 22, parte superior derecha en las dos primeras gráficas). Las aspás negras indican que el canal que se está viendo en la pantalla. En el caso de la figura 22 aparecerían ambos al estar seleccionados. Debajo de este controlador aparecen unos botones (recuadro naranja) para dar zoom a la gráfica o moverse a través de ella de izquierda a derecha o de arriba abajo. La primera opción es mediante un botón con el icono de una lupa y la segunda mediante un botón con el icono de una mano (ver figura 22 en las tres gráficas, los botones están en la parte inferior derecha).

- La gráfica con el recuadro en rojo representa la evolución temporal del nivel sonoro Leq adquirido segundo a segundo. Esta gráfica si es acumulativa. Presenta un scroll (ver figura 22, debajo de la gráfica en la parte inferior derecha) para mostrar datos pasados. Los controladores Left/ Right al igual que los controles de zoom y movimiento funcionan igual que la gráfica anterior. Se muestra un display a la derecha del controlador Left/Right que indicara el valor numérico exacto del Leq adquirido en ese segundo tanto de un canal como del otro. El eje Y representa el valor Leq en dB y el eje de las X el tiempo medido en segundos.
- La última gráfica (recuadro azul) representa la evolución temporal de los coeficientes de correlación entre los dos canales adquiridos segundo a segundo. El eje de las Y mide la escala de la correlación medida entre -1 y 1 y el eje de las X el tiempo medido en segundos. Esta gráfica también es acumulativa presentado el mismo scroll que la anterior. Esta al presentar solo un dato de correlación proveniente de los dos canales no tiene el indicador Left/Right pero si el display numérico que reflejará el valor numérico exacto del coeficiente en el punto exacto de lectura. También presenta el control de zoom y movimiento.

Estas graficas solo se actualizan si está activado el botón general Habilitar Adquisición.

En la figura 23 se muestra el aspecto de esta pestaña con el sistema funcionando: el sistema lee los canales 1 y 2, ambos micrófonos están pegados a un altavoz.

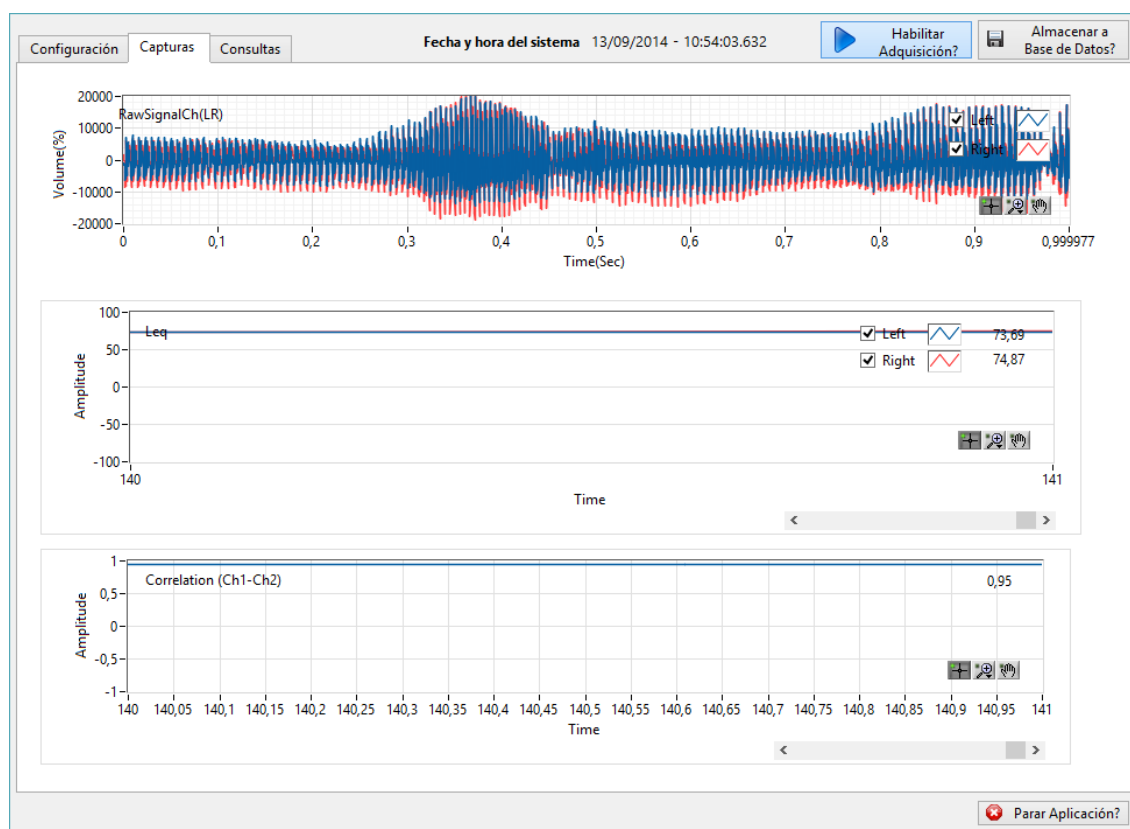


Figura 23. Pestaña de capturas con el sistema en marcha

En la primera gráfica se muestran ambos canales de la señal eléctrica de entrada leída segundo a segundo. En rojo canal 1 y en azul canal 2. Al estar juntos y a la misma distancia de la fuente, ambos aparecen prácticamente superpuestos al captar ambos niveles parecidos. En la segunda los valores Leq de ambos canales (el 1 en rojo y el 2 en azul), a la derecha del controlador Left/Right aparecen los dos displays numéricos de los valores Leq leídos en este preciso segundo (73,69 canal 1 y 74,87 canal 2). Por último la tercera gráfica indica la correlación. Se observa que cada muestra tomada por segundo tiende prácticamente uno (línea azul en la gráfica) al captar los dos micrófonos prácticamente la misma señal. En el display se muestra el valor numérico de correlación leído en ese segundo en la parte superior derecha que en este caso es 0,95.

3.3.4 Pestaña de consultas

El aspecto de esta pestaña es el mostrado en la figura 24:

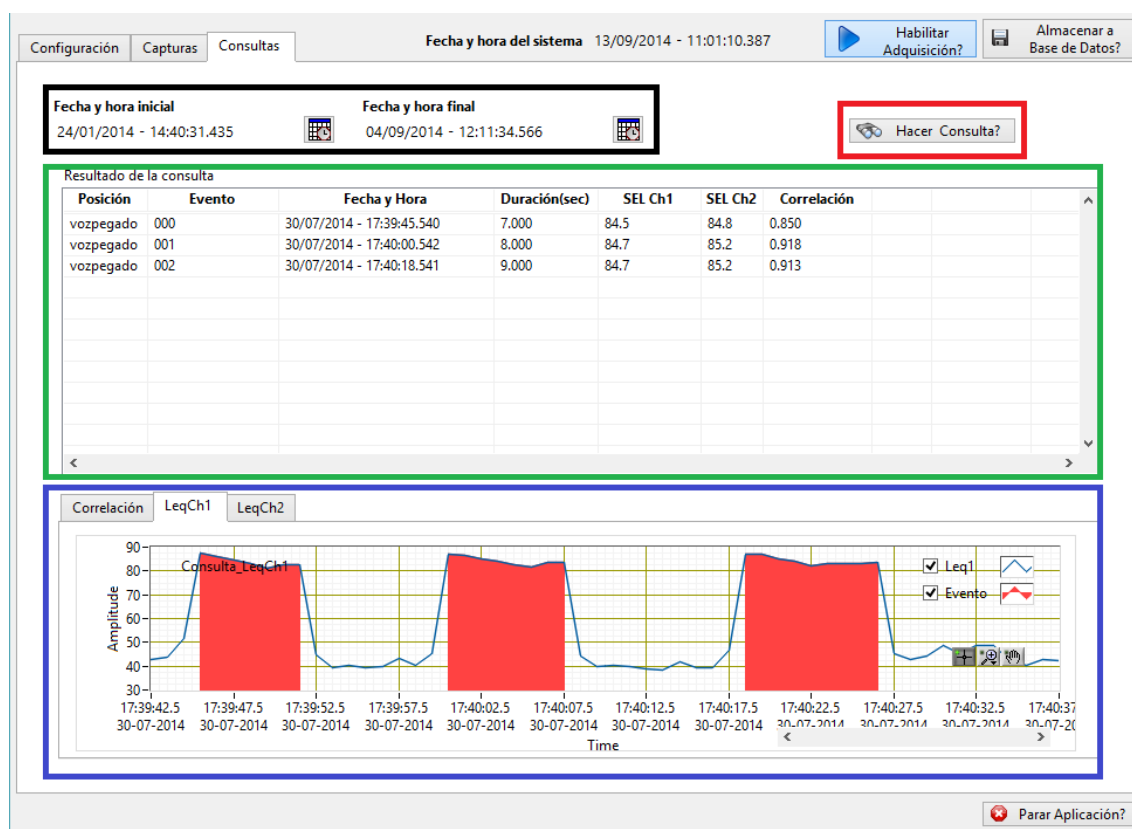


Figura 24. Aspecto de pestaña de consultas

El primer paso para realizar la consulta es elegir en la pestaña configuración los siguientes parámetros:

- Primero seleccionar la base de datos a consultar en el path base de datos, si se está adquiriendo datos y se quiere consultar sobre esa base no hay que realizar ninguna acción.
- A continuación elegir los parámetros de detección de eventos, umbral y muestras así como la posición a consultar.
- Por último ir a la pestaña consultas, elegir fecha y hora inicial y fecha y hora final en los selectores de consulta y pulsar el botón hacer consulta. En la tabla resultados de consulta aparecerán (si los hubiera) los eventos captados y en la

parte de abajo las gráficas de todas las consultas realizadas (leq canal 1, leq canal 2 y correlaciones).

Partes que componen esta pestaña:

- **Selectores de consulta (recuadro negro):** el primer paso para realizar la consulta después de elegir los parámetros de configuración es seleccionar una fecha y hora inicial y una fecha y hora final para establecer un periodo de tiempo a consultar.
- **Botón hacer consulta (recuadro rojo):** una vez seleccionado el espacio de tiempo a consultar se pulsa este botón para que el sistema realice la consulta a partir de los datos de umbral y muestras escritos por el usuario y posición en la pestaña de configuración. Si existen eventos que cumplan ambas condiciones se reflejarán en la tabla resultados de la consulta.
- **Tabla resultados de la consulta (recuadro verde):** en esta tabla aparecerán los resultados de la consulta realizada. Si no se captan eventos esta tabla aparecerá en blanco. Si existen, se mostrará su posición, numeración del evento empezando por 000, fecha y hora de comienzo del evento, duración del evento, SEL canal 1, SEL canal 2 y correlación.
- **Gráficas de consulta (recuadro azul):** estas gráficas muestran el resultado de todo el periodo de tiempo consultado del Leq canal 1, Leq canal 2 y correlación. Resaltar que LabVIEW puede mostrar gráficas hasta un tamaño 2 Gigas. Si no se captan eventos la aplicación si devolverá la gráfica de todo el periodo de tiempo de los leq por canal y la correlación aunque la tabla de resultados este en blanco.

Las siguientes figuras (25,26 y 27) muestran en detalle cada una de las gráficas:

- La figura 25 muestra el resultado de todos los valores de correlación durante el tiempo consultado:

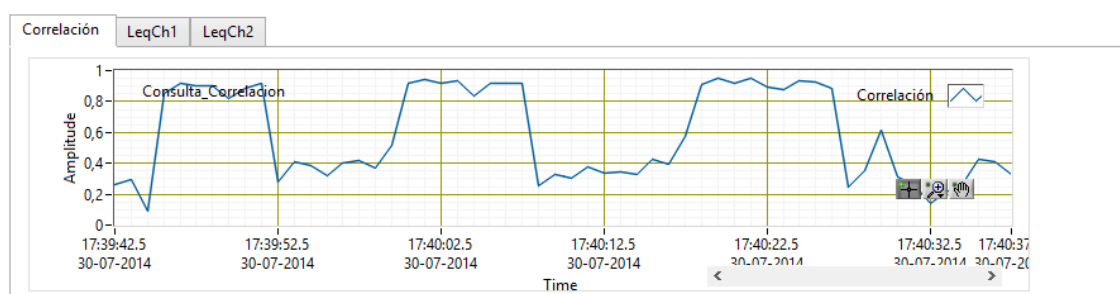


Figura 25. Resultado de correlación de toda una consulta

Es una gráfica acumulativa, por lo tanto presenta un scroll para moverse a partir de ella en la parte inferior derecha. También un botón de zoom y otro de movimiento libre sobre la gráfica (iconos lupa y mano en la parte inferior derecha). Estas dos características (scroll e iconos) son propias de las tres gráficas, por lo tanto no se volverán a citar. El valor de correlación final se calcula a partir de las correlaciones determinadas por el evento captado en el canal 1. Por ejemplo un evento tiene una duración de 7 segundos, por lo tanto tendrá 7 valores de coeficientes de correlación. El valor en la tabla resultados se calcula a partir de esos 7 valores devolviendo un único dato.

El eje de las X muestra el tiempo desde el inicio al fin de la consulta y el eje de las Y el valor de correlación.

- La figura 26 muestra el valor Leq del canal 1 que es el canal detector de eventos:

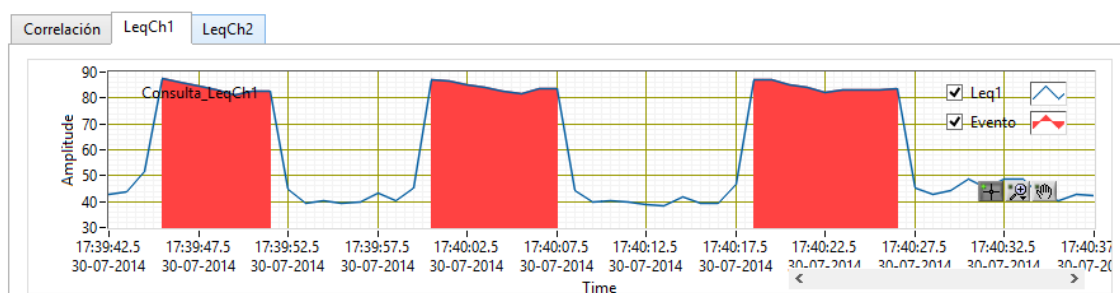


Figura 26. Resultado de Leq del canal 1 de toda una consulta

El eje de las X muestra el tiempo desde el inicio al fin de la consulta y el eje de las Y el valor Leq. Los eventos se marcan en rojo. En la figura 26 se representan tres eventos.

- La figura 27 muestra el resultado de la consulta para el Leq del canal 2:

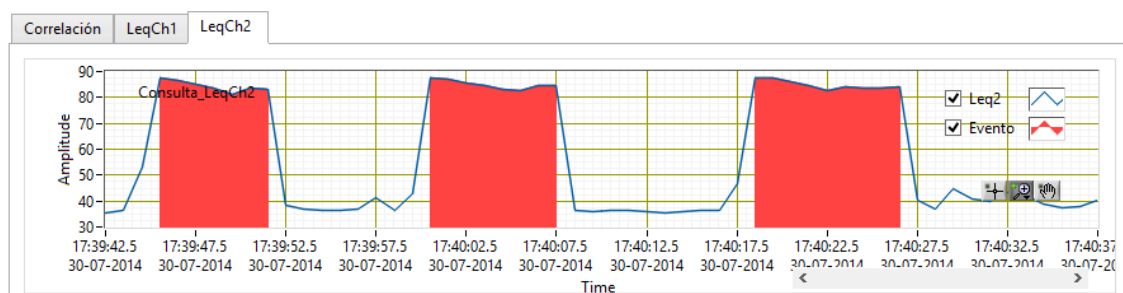


Figura 27. Resultado de Leq del canal 2 de toda una consulta

La configuración es idéntica a la del Leq canal 1, se marcan en rojo los eventos detectados por dicho canal y los ejes contienen la misma información. Si se comparan ambas figuras (26 y 27) se observa como cada evento tiene el mismo espacio temporal.

4 RESULTADOS

En este apartado se expondrán los resultados para demostrar la fiabilidad del sistema. Al existir sistemas de medida homologados se pretende hacer un sistema de medida alternativo y analizar cuáles son sus características, ya que este sistema puede ser fácilmente customizado para aplicaciones concretas.

4.1 Experimento 1: calibración del sistema

Con este experimento se pretende efectuar una calibración del sistema, ante la ausencia de calibradores sonoros para el tipo de micrófonos empleados. Para ello se ha buscado un procedimiento alternativo utilizando un sonómetro tipo 1 para dar trazabilidad al sistema, el modelo CESVA SC-20e. Este ha sido prestado por la Universidad Politécnica de Madrid. Al utilizarse el sonómetro como patrón, las lecturas de este serán un valor de referencia, con el que comparar el sistema.

En un sistema homologado se utilizan micrófonos de clase 1 calibrados e idénticos por canal para medir, por lo tanto ni los canales ni el sistema presentan incertidumbre o error. Como en este sistema de medida alternativo habrá disponibles dos micrófonos diferentes, primero se calibrarán y posteriormente se procederá mediante una nueva adquisición para cada micrófono y sonómetro, a calcular la precisión del sistema usado en este proyecto mediante su error o incertidumbre. Además mediante el cálculo de una distribución normal por canal se calculara cual es de los dos es más preciso.

Calibración:

El proceso es el siguiente: se colocaran los dos micrófonos y el sonómetro juntos a una misma altura y distancia en campo libre. Estarán apuntando a una fuente de sonido que en este caso será un coche emitiendo por el reproductor de música un CD de un tono de 1kHz de 5 minutos de duración. La localización será un parking vacío en horario nocturno.

El micrófono PERCEPTION 150 será el del canal 1 y el C100S el del canal 2 para todo el experimento.

En la figura 28 se muestra un esquema del proceso:

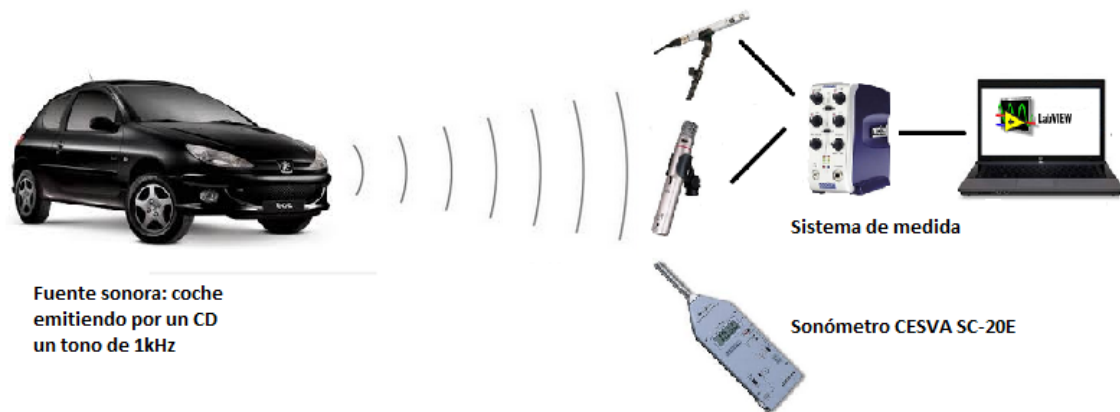


Figura 28. Diagrama para calibración del sistema

Como se observara en los displays de los tres aparatos (en micrófonos el de la ventana capturas en la interfaz del programa y el sonómetro el suyo propio) se alcanzará un valor de Leq (dB) constante en el tiempo. Se anotará la diferencia de nivel entre cada uno de los micrófonos y el sonómetro. Posteriormente se añadirá esa diferencia en el programa sumándola mediante una constante a la entrada de cada canal del micrófono mediante una pequeña programación. Con este proceso los micrófonos usados y el sonómetro están calibrados.

Calculo de precisión del sistema en conjunto:

Una vez calibrados se calculará la incertidumbre o error del sistema para saber su fiabilidad en conjunto. Para ello se realiza una nueva medida adquiriendo datos segundo a segundo de cada canal y almacenándolos en la base de datos Access durante 110 segundos (110 datos). En el sonómetro se almacenaran también los mismos 110 datos en una memoria interna. Se considera que el error del sonómetro es 0 y el del micrófono es el siguiente:

$$Error_{micrófono} = Leq_{micrófono} - Leq_{sonometro} \text{ (dB) [24]}$$

En Excel se volcaran los datos Leq de cada canal proveniente del Access, los Leq del sonómetro y se calculará el error con la fórmula anterior obteniendo un valor para cada dato de Leq por canal.

En el anexo 1 se muestra la tabla con el resultado de las 110 medidas por canal, las del sonómetro y el error de cada micrófono aplicando la fórmula anterior. Se observa que ningún valor supera $\pm 1\text{dB}$. Por lo tanto la incertidumbre o error es $\pm 1\text{dB}$. Por lo que el sistema de medida es fiable después de ser calibrado al no presentar demasiado margen de error.

Calculo de precisión de cada canal:

Posteriormente se calculará para cada uno de los canales usando los valores de los errores obtenidos la media aritmética, desviación típica y su distribución normal.

El nivel de ruido en telecomunicaciones es una de las variables asociadas a fenómenos naturales que siguen el modelo de la distribución normal o campana de Gauss. Con la media y la desviación típica se calculará la distribución normal de cada canal. La gráfica de la distribución normal mostrará que canal es más preciso.

A continuación una tabla con los resultados obtenidos por cada micrófono:

Tabla1. Resultados por micrófono

Micrófono	Media aritmética	Desviación típica
PERCEPTION 150	0,19	0,39
C1000S	0,07	0,44

La gráfica de la distribución normal se ha hecho a partir de la función en Excel DISTR.NORM.M cuyos parámetros de entradas son: el rango elegido en el eje X de la gráfica, la media aritmética y la desviación típica de la columna error de cada micrófono.

Se muestran las gráficas de cada distribución normal por canal: figura 29 para el canal 1 y la figura 30 para el canal 2:

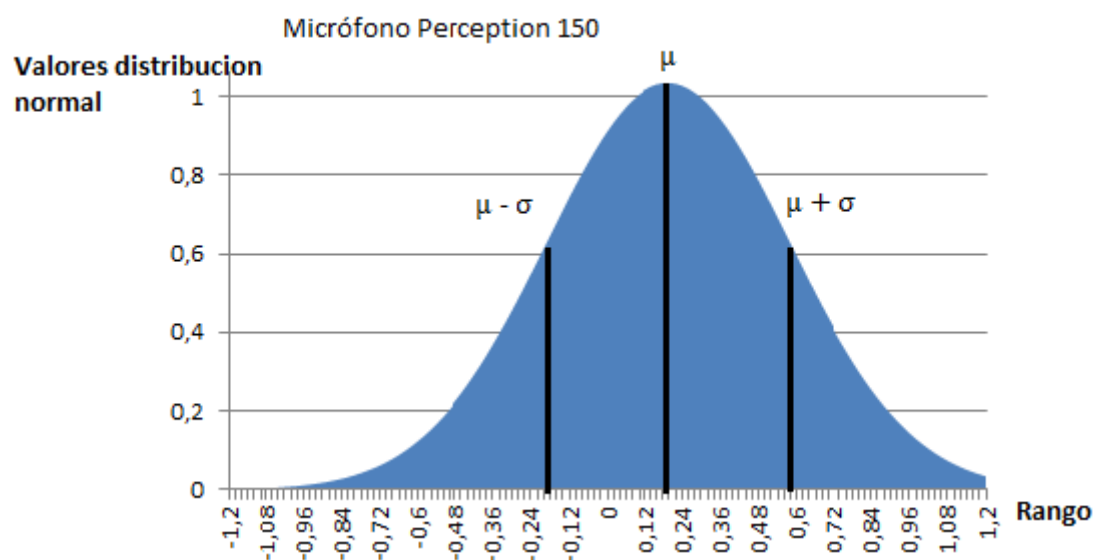


Figura 29. Distribución normal del canal 1 (Micrófono Perception 150)

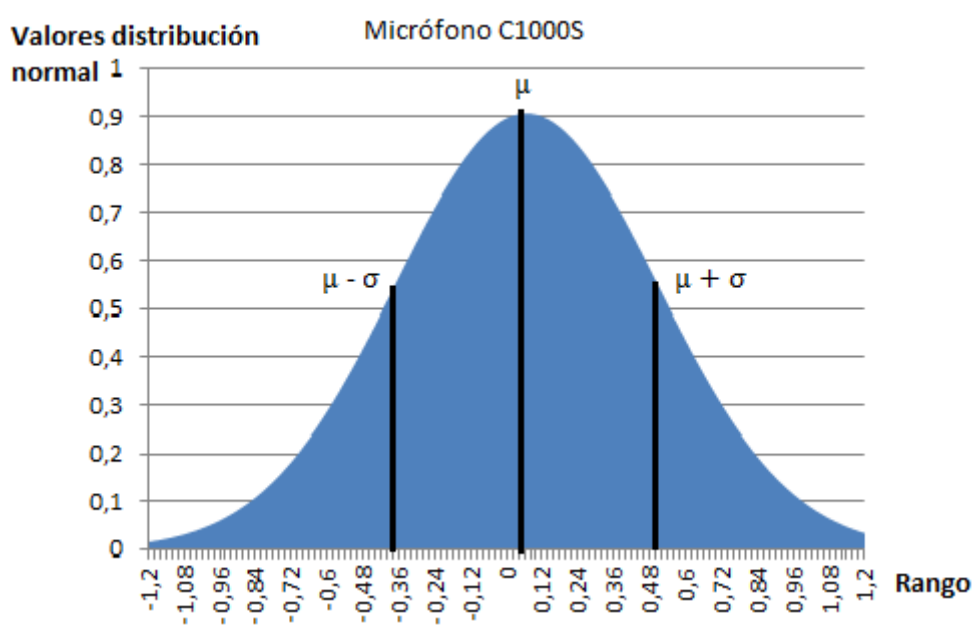


Figura 30. Distribución normal del canal 2 (Micrófono C1000S)

Los miembros de la muestra se concentran alrededor del promedio y son más escasos a medida que se aproximan a los extremos. En una distribución normal general cerca del 68% de los miembros de la muestra se ubican en el área definida por un desvío estándar en cada sentido (marcado en la gráfica por dos líneas verticales: media menos

desviación típica y media más desviación típica). La precisión de cada canal la da la dispersión de los datos en los extremos, cuanto más concentrados alrededor del promedio (más estrecha será la campana) más preciso es el sistema. Cuando aparezcan más datos en los extremos menos preciso es este. En este caso el canal 2 es menos preciso que el canal 1 al encontrarse más datos dispersos en los extremos, su campana es más ancha. En el canal 2 aparecen datos en los extremos entre los valores -1 y -1,2 mientras que en el canal 1 no.

Nota: todos los experimentos expuestos a continuación se realizaron con la calibración alternativa mostrada en el experimento 1, al observar que el sistema es fiable tras esta calibración como se demostró en dicho experimento.

4.2 Experimento 2: correlación

El programa mediante el VI propio de LabVIEW dará unos valores de correlación y posteriormente calculará un solo dato a partir de estas correlaciones que representará y mostrará al usuario la similitud de las señales captadas en cada micrófono. Para demostrar y justificar que los datos expuestos en esta memoria son correctos y que se ha programado correctamente se propone el siguiente experimento. No se puede obtener una correlación perfecta positiva de valor 1 o de valor 0 con los dos micrófonos ya que estos tienen características técnicas diferentes por lo tanto nunca se alcanzará el valor ideal 1 o 0. Para conseguir ese valor ideal se necesita introducir una misma señal eléctrica a ambos canales de la tarjeta y ver cómo están correlacionados. Si toman un valor continuo en el tiempo 1 o 0 dependiendo el caso el sistema funcionará adecuadamente. Para lograr esto se usa como señal eléctrica una guitarra eléctrica que a través de un adaptador dividirá su salida en dos idénticas y entraran cada una a cada entrada de línea de cada canal en la tarjeta de sonido externa usada.

Se usa un adaptador V de Jack que es un conector que permite a partir de una señal de entrada obtener dos salidas idénticas de dicha señal. En este caso por un lado del conector se conectará una guitarra eléctrica. Por otro lado del conector saldrán dos salidas idénticas de la señal eléctrica proporcionada por el instrumento que permitirá conectar la misma señal a cada canal de la tarjeta de sonido externa por su entrada de línea como se ha dicho anteriormente. Según la teoría de la correlación al tener la

misma señal en ambos canales el resultado del coeficiente de correlación tendría que ser 1 constante en el tiempo, una correlación perfectamente lineal ideal. En la figura 31 se aprecia rodeada con un círculo rojo la correlación 1. También se observa en su gráfica correspondiente que es constante en el tiempo, una línea recta de valor 1.

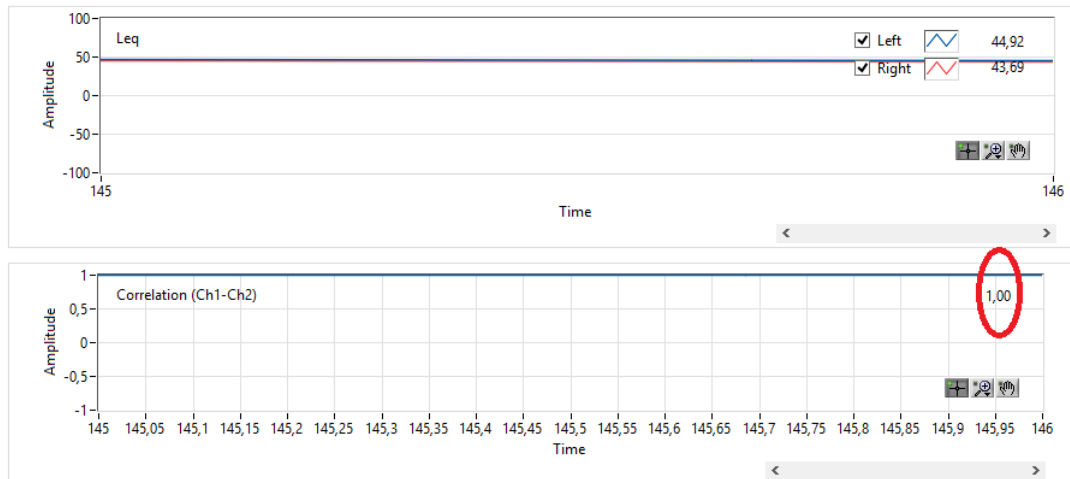


Figura 31. Correlación positiva ideal

Por otra parte, si se desconecta la entrada de un canal y seguimos con la guitarra conectada al otro la correlación se irá a 0 de forma continua en el tiempo, ya que ambos canales están recibiendo señales totalmente distintas. Por un lado un canal enviará la señal eléctrica del instrumento y el otro canal el ruido eléctrico de la tarjeta de sonido. En la figura 32 se aprecia rodeada con un círculo rojo la correlación. También se observa en su grafica correspondiente que es constante con el tiempo, una línea recta de valor 0.

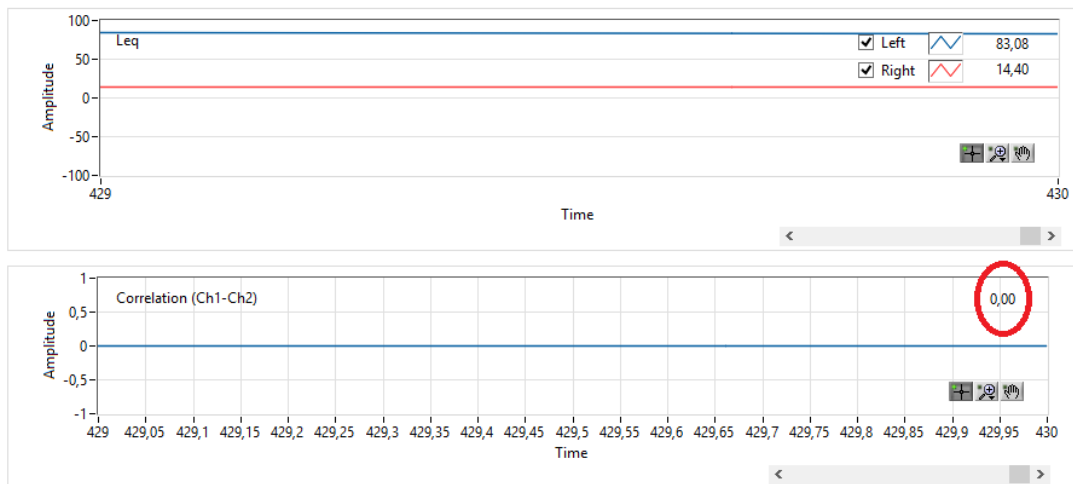


Figura 32. Correlación no lineal ideal

Por lo tanto el sistema funcionará adecuadamente y los datos de correlación serán válidos.

El dato de correlación mostrado en la tabla de resultados de la pestaña consultas es el que a partir de las correlaciones segundo a segundo adquiridas nos dará el grado de similitud de la señal captada por los micrófonos de los canales 1 y 2. Si el valor es próximo a uno es que ambos micrófonos captan prácticamente lo mismo. Si el valor es positivo y no es próximo a uno es que ambos micrófonos captan la misma señal en menor intensidad debido a la interferencia de otras señales u otros factores externos como situación de los micrófonos, distancia con la fuente sonora, etc. Por último si tiene un valor próximo a cero es que ambos micrófonos captan señales diferentes.

4.3 Experimento 3: condiciones (umbral y ancho) de detección

En este experimento se probarán las condiciones de detección de eventos umbral y ancho del evento. Para ello solo se usará micrófono en el canal 1 para detectar eventos y el canal 2 aparecerá atenuado. Un locutor irá contando con un cronómetro diferentes periodos de tiempo a diferente volumen y a continuación se irá probando con diferentes umbrales y anchos comprobando que el sistema detecta correctamente eventos en relación a ambos valores.

La localización será en el interior de una habitación, el micrófono dos se dispondrá en otra diferente.

Se graban 4 eventos de voz con el micrófono a diferente distancia de la boca, así se obtienen eventos con diferentes niveles, por lo tanto se tendrán diferentes umbrales.

Umbral 55 dB y ancho 4: aparecen 4 eventos al superar estos las dos condiciones. Se observa como la duración de los eventos coincide en la gráfica del Leq canal 1 con la duración mostrada en la tabla de resultados. El resultado se muestra en la figura 33:

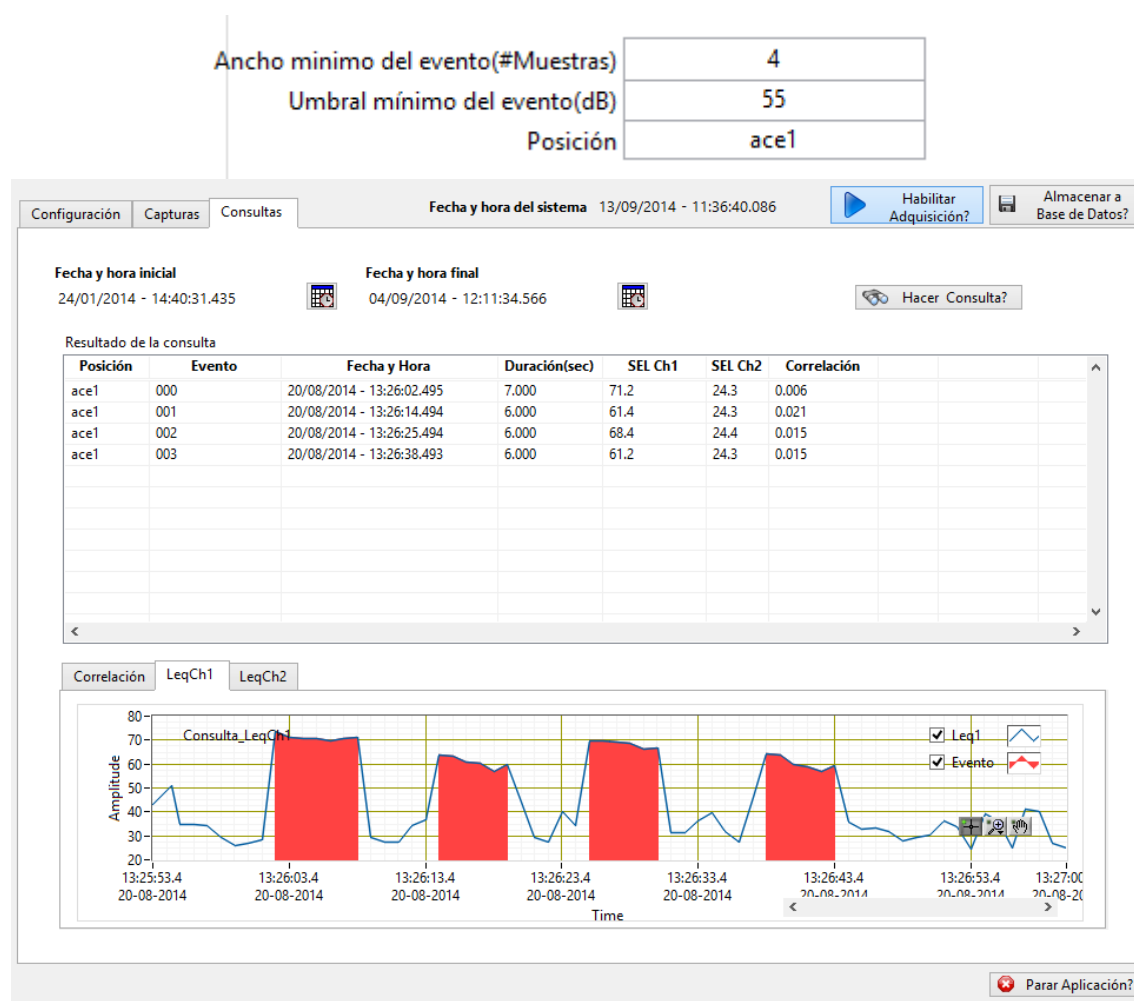


Figura 33. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

A continuación se muestra en la figura 34 la gráfica de resultados mostrando la del canal Leq 2:

Ancho mínimo del evento(#Muestras)	4
Umbral mínimo del evento(dB)	55
Posición	ace1

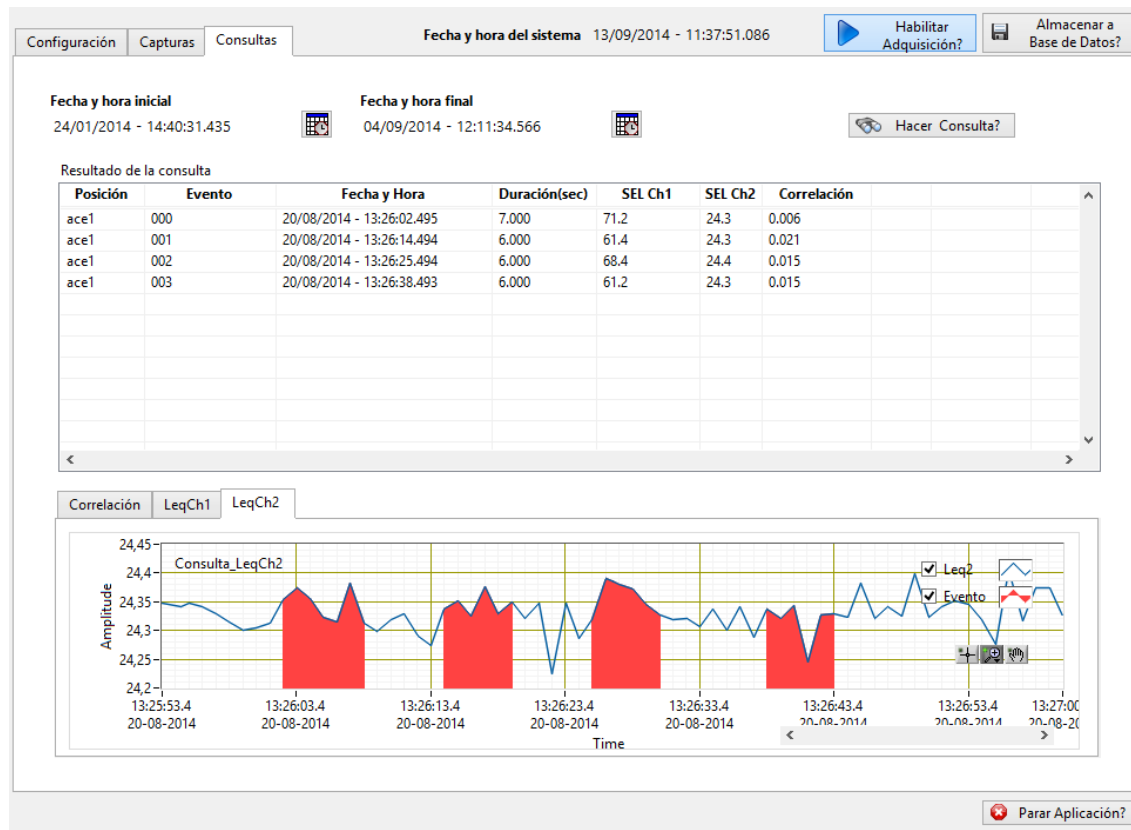


Figura 34. Tabla de resultados mostrando Leq canal 2

Se observa que los eventos captados por el canal 1 coinciden en el tiempo si se compara con la figura 33. Esta situación se repetirá en todos los casos. En el Leq canal 2 Se resalta solo la parte coincidente con el evento captado por el canal 1.

Si con el umbral 55 dB el usuario selecciona un ancho mínimo del evento de 10 pasaría lo siguiente: el sistema no detecta eventos al no cumplirse ambas condiciones simultáneamente de detección (ancho y umbral), pero si devuelve la gráfica para el Leq canal 1, Leq canal2 y correlación de todo el tiempo de consulta, como demuestra la figura 35 mostrando tabla resultados y el Leq canal 1:

Ancho minimo del evento(#Muestras)	10
Umbral mínimo del evento(dB)	55
Posición	ace1

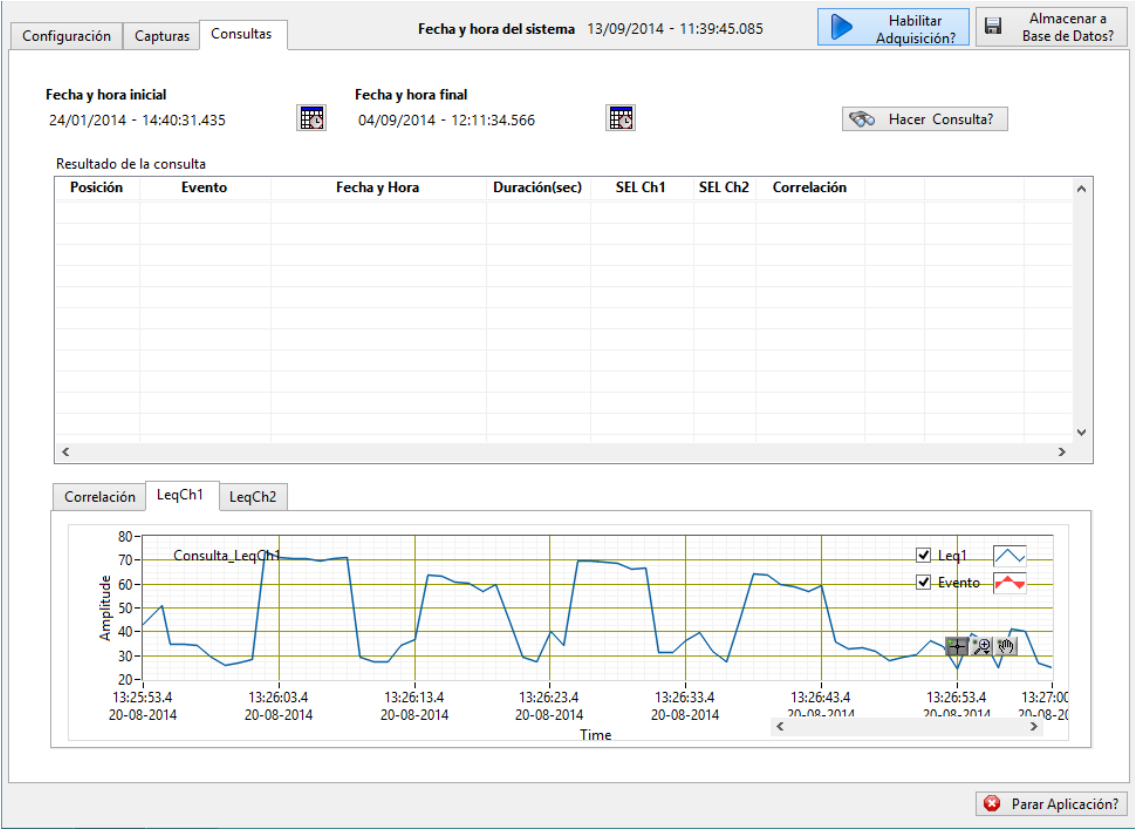


Figura 35. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

Se observa la tabla de resultados vacía al no tener ningún evento, pero el sistema devuelve el resultado de toda la medida.

En Leq canal 2 ocurre lo mismo como muestra la figura 36:

Ancho minimo del evento(#Muestras)	10
Umbral mínimo del evento(dB)	55
Posición	ace1

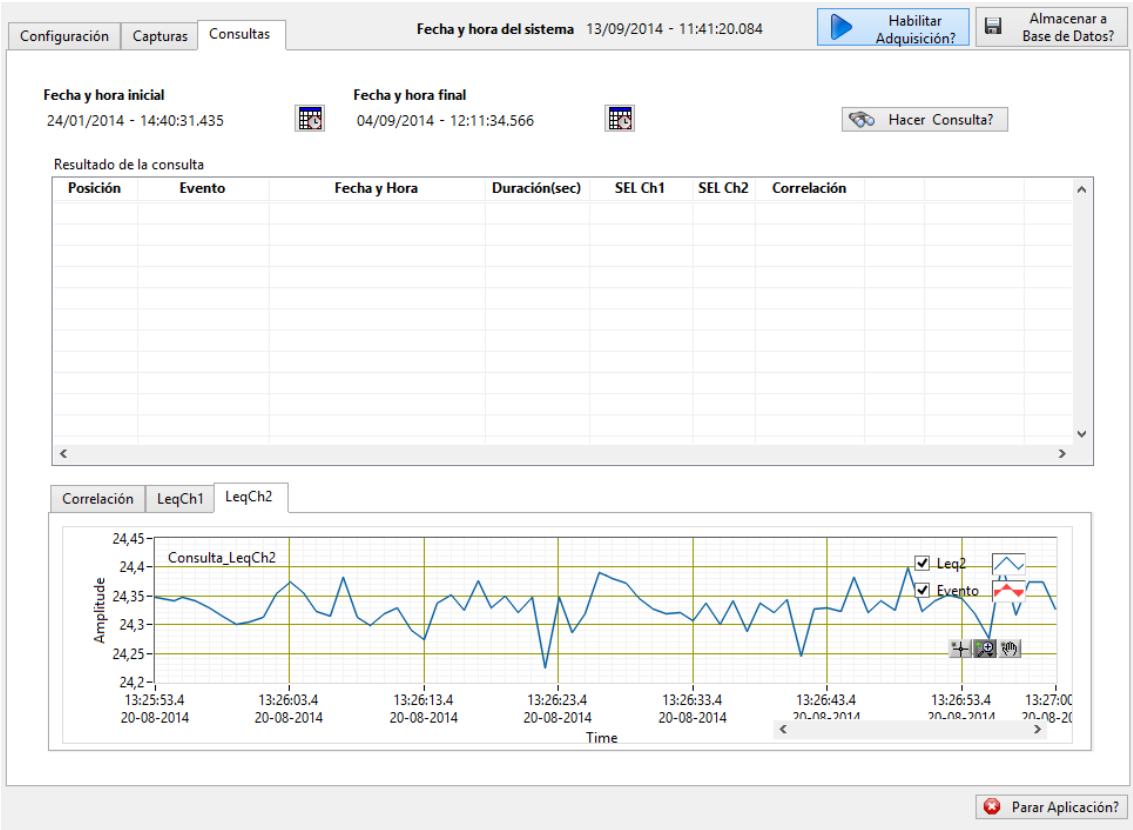


Figura 36. Tabla de resultados mostrando Leq canal 2

Umbral 65 dB y número de muestras 5: Aparecen dos eventos al superar ambas condiciones. Se muestra la gráfica del Leq canal 1 junto a la tabla de resultados en la figura 37:

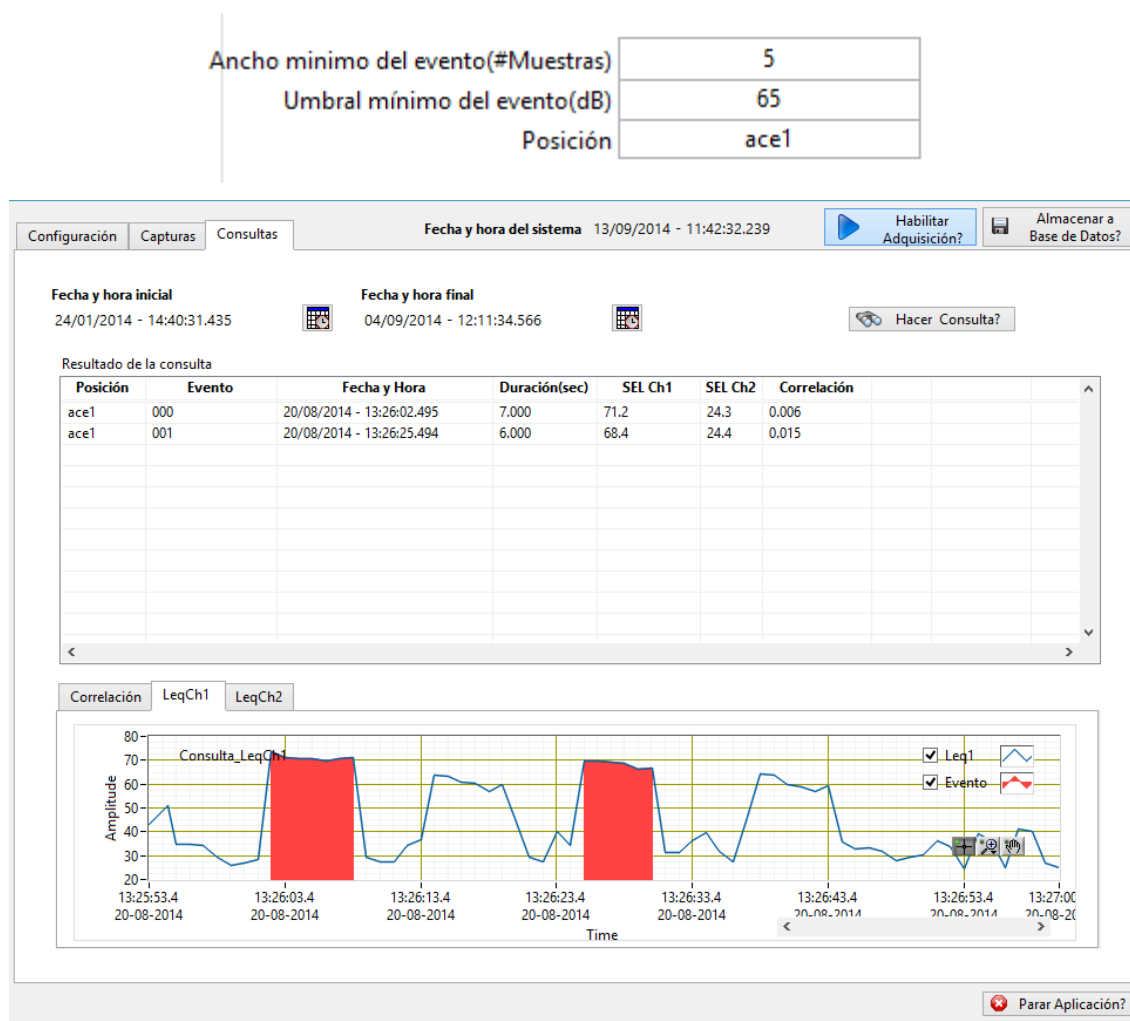


Figura 37. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

La figura 38 muestra el Leq canal 2 y la tabla de resultados donde coinciden los eventos en tiempo del canal Leq 1:

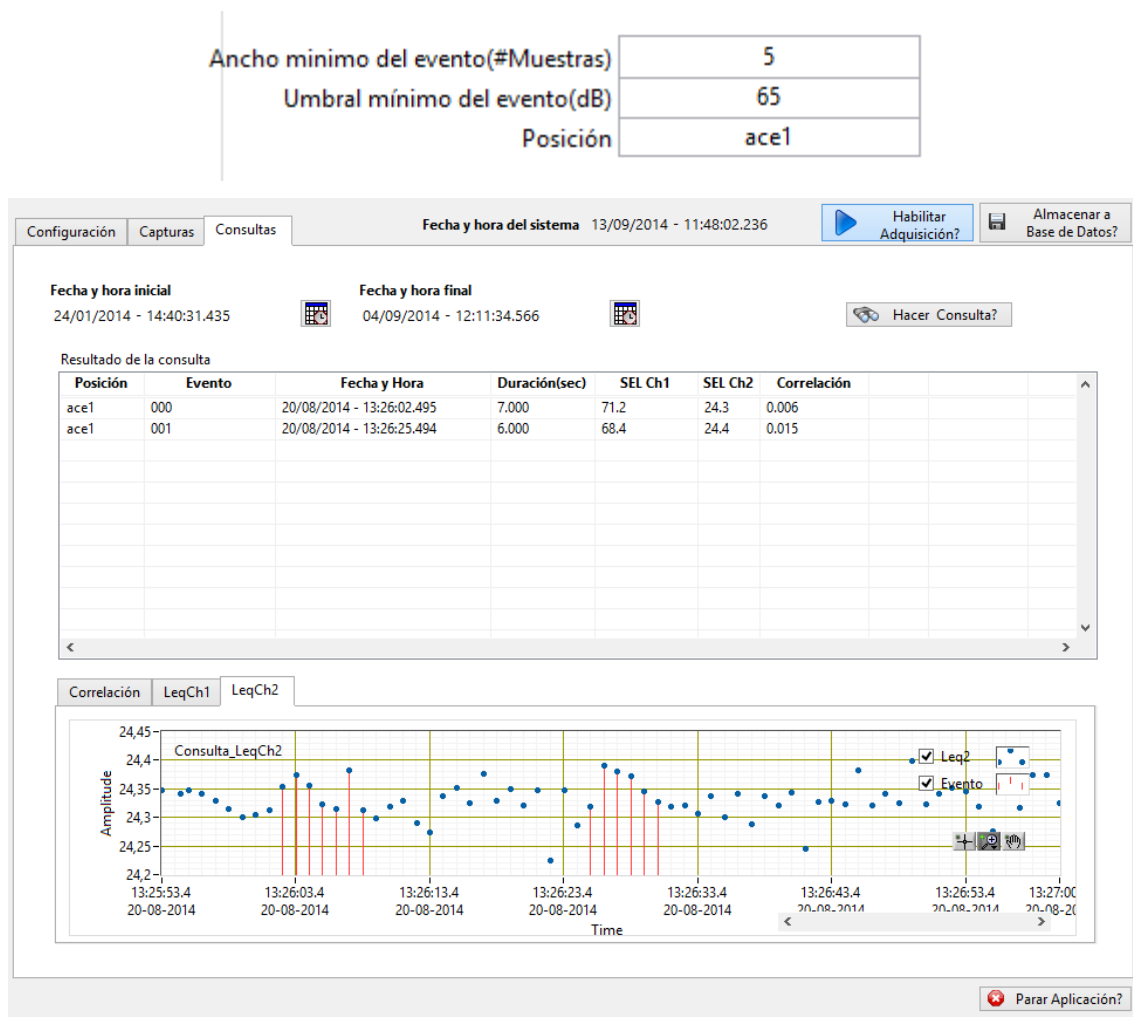


Figura 38. Tabla de resultados mostrando Leq canal 2

En este caso se elige otra forma de representación de la gráfica. Se representan todos los datos segundo a segundo de forma independiente y el evento detectado en el canal 1 marcado muestra a muestra. Se aprecia perfectamente como en el primer evento se marcan 7 muestras que coinciden con su duración en la tabla de resultados y de la misma forma 6 en el segundo, lo que demuestra que el sistema adquiere datos segundo a segundo. Para cambiar el formato de la tabla hay que pulsar a la derecha en el indicador de selección de gráfica en la parte superior de esta (marcado con un recuadro en negro en la figura 39):

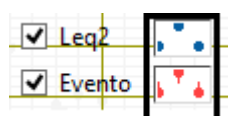


Figura 39. Selección aspecto gráficas

Umbral 68 dB y ancho 4: solo aparece un evento en el canal 1. Se observa en la figura 40 mostrando el Leq canal 1 junto a la tabla de resultados:

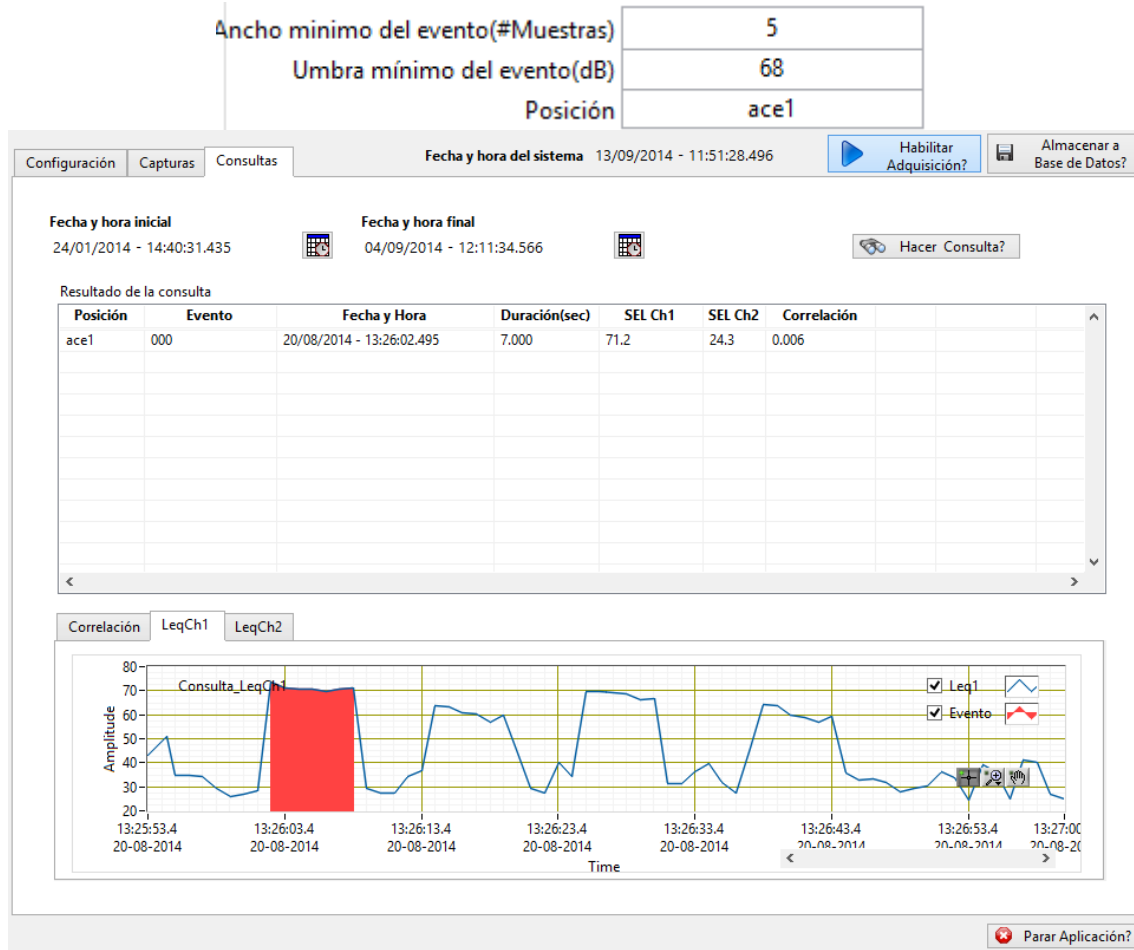


Figura 40. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

A continuación se muestra el Leq canal 2 junto a la tabla de resultados en la figura 41:

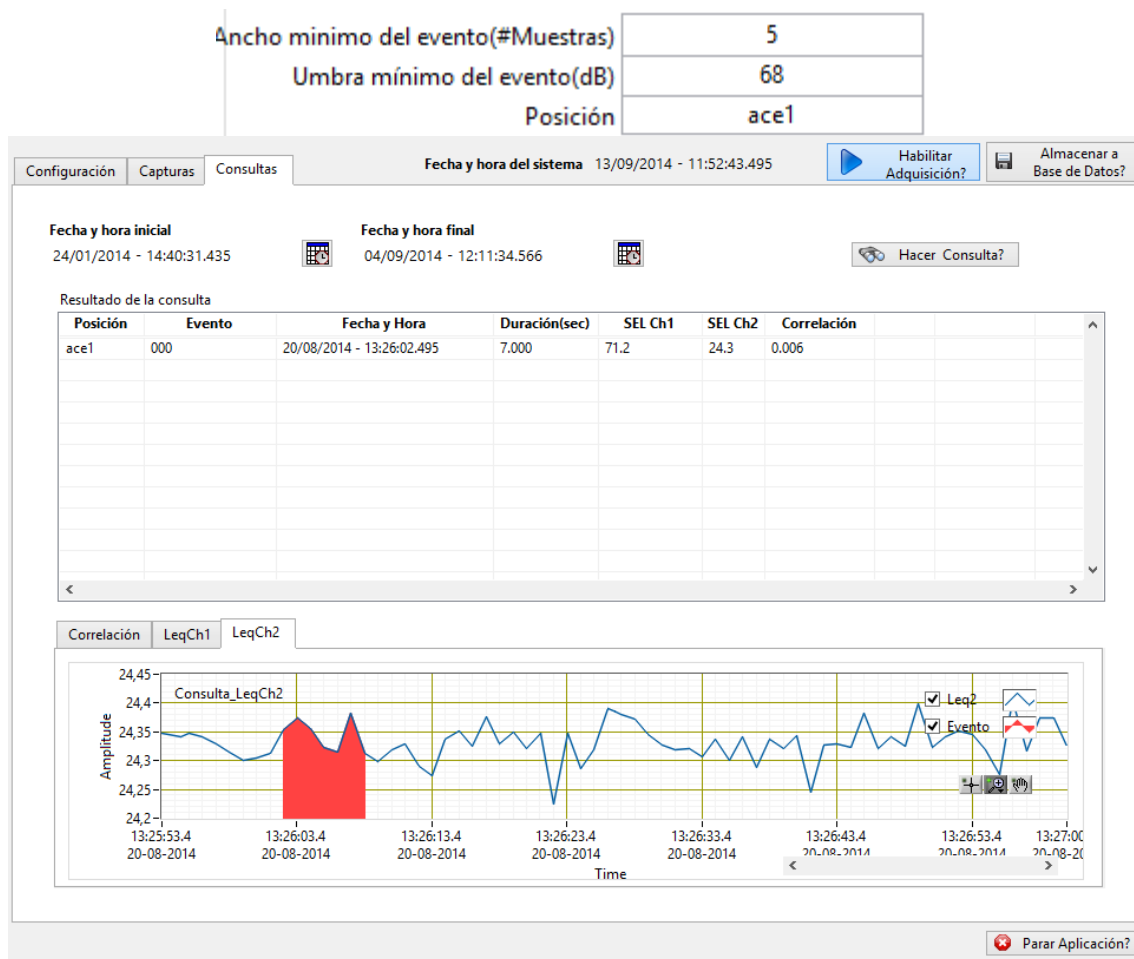


Figura 41. Tabla de resultados mostrando Leq canal 2

Si por último un usuario eligiera un umbral mayor de 74 dB e independientemente del número de muestras el sistema no captaría eventos. La muestra de mayor nivel es de 73 dB, que es exactamente la primera muestra del primer evento detectado por el canal 1. Para entender esto último ver el eje Y de la gráfica (Amplitud) en la figura 42, se aprecia que ninguna muestra supera el valor 74 dB .Se muestra el Leq canal 1 junto a la tabla de resultados con la representación muestra a muestra donde se aprecia esto mejor.

Ancho mínimo del evento(#Muestras)	1
Umbral mínimo del evento(dB)	74
Posición	ace1

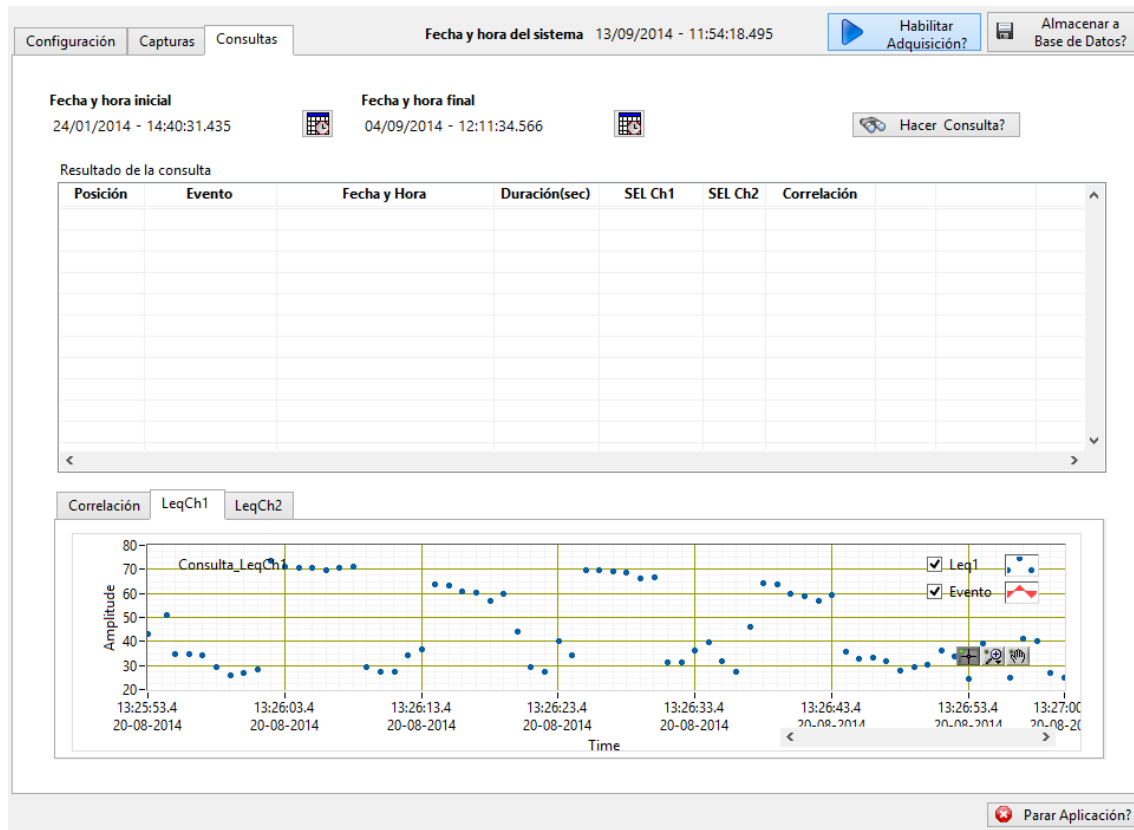


Figura 42. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

Como conclusión decir que para captar eventos se deben cumplir ambas condiciones (umbral y ancho) simultáneamente sino el sistema no detectara eventos aunque devolverá las gráficas de toda la consulta realizada.

4.4 Experimento 4: fuentes sonoras individuales

Para este experimento se usaran dos fuentes de sonido en una misma localización y en unas mismas condiciones ambientales de forma individual: la voz humana y el sonido de la televisión. La localización es una habitación de una vivienda en una zona residencial. Durante el experimento se compararan los resultados entre ambas y la influencia del medio en el momento de realizar la prueba. Se captarán eventos solo con

la voz y la televisión apagada y luego con la televisión encendida sin voz. Primero se hará la prueba con los dos micrófonos dentro de una habitación juntos y apuntando a la fuente a la misma distancia de esta, y posteriormente con un micrófono fuera de la ventana de la misma habitación asomando a la calle y otro dentro para cada fuente sonora.

Los umbrales y el ancho se elegirán observando las gráficas devueltas de toda la consulta para que haya eventos, ya que anteriormente en el experimento 3 se ha demostrado que el sistema funciona variando ambas condiciones. Por lo tanto no se redundara en el tema. Se puede comprobar que la duración de los eventos mostrada en la tabla resultados coincide con los eventos marcados en las gráficas. De todas formas se irán eligiendo diferentes valores de umbral y del ancho para cada ejemplo, para seguir demostrando que el sistema funciona con diferentes valores.

Solo fuente de voz con los dos micrófonos dentro

Se colocarán los dos micrófonos juntos, apuntando a la boca del locutor y a la misma distancia y se detectan eventos.

La figura 43 muestra el Leq del canal 1 junto a la tabla de resultados con tres eventos captados:

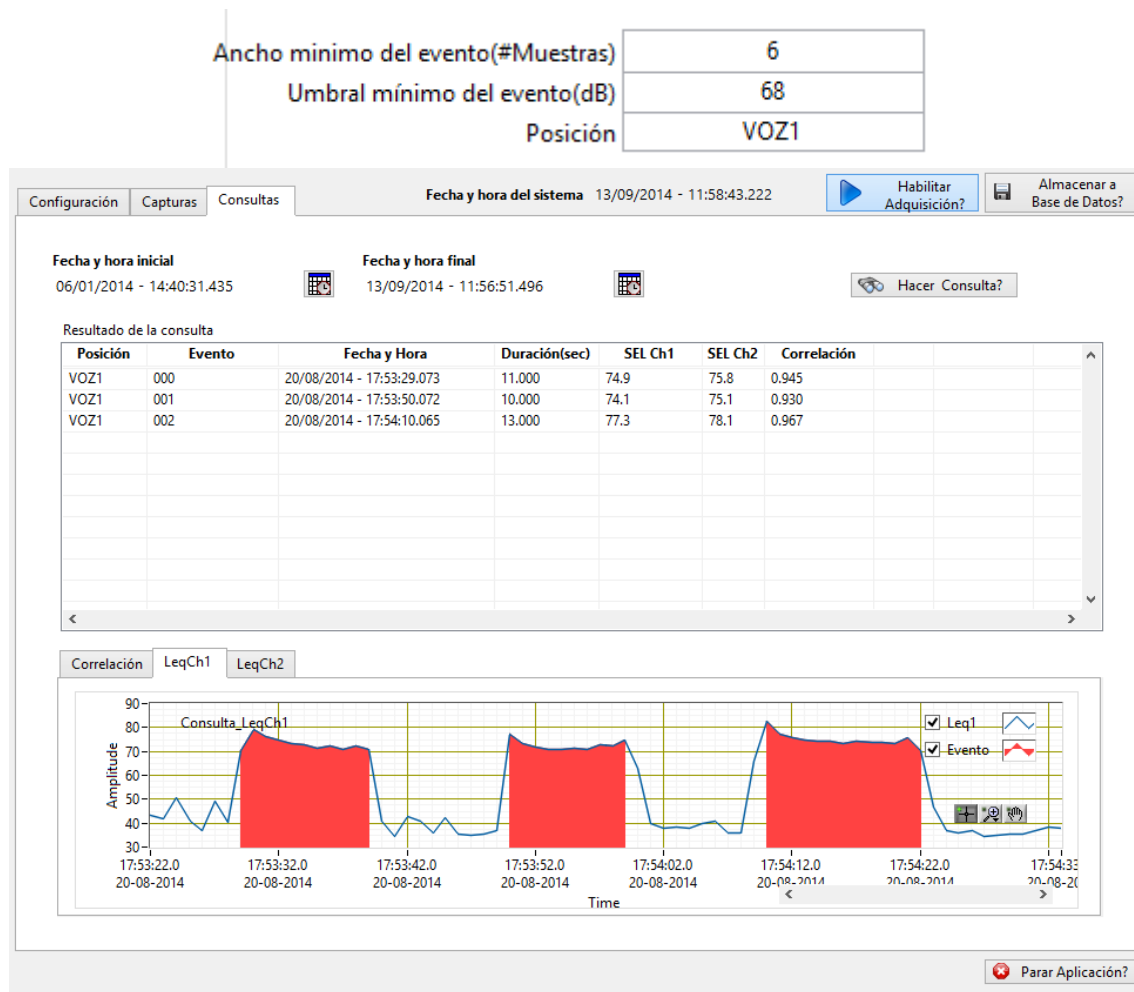


Figura 43. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

Se observa en la tabla de resultados que al estar los micrófonos juntos y a la misma distancia de la fuente el valor del SEL de cada canal es muy parecido.

A continuación se muestra la tabla de resultados junto con el Leq del canal 2 en la figura 44 donde se vuelve a observar que coinciden los eventos en el tiempo con los marcados por el canal 1:

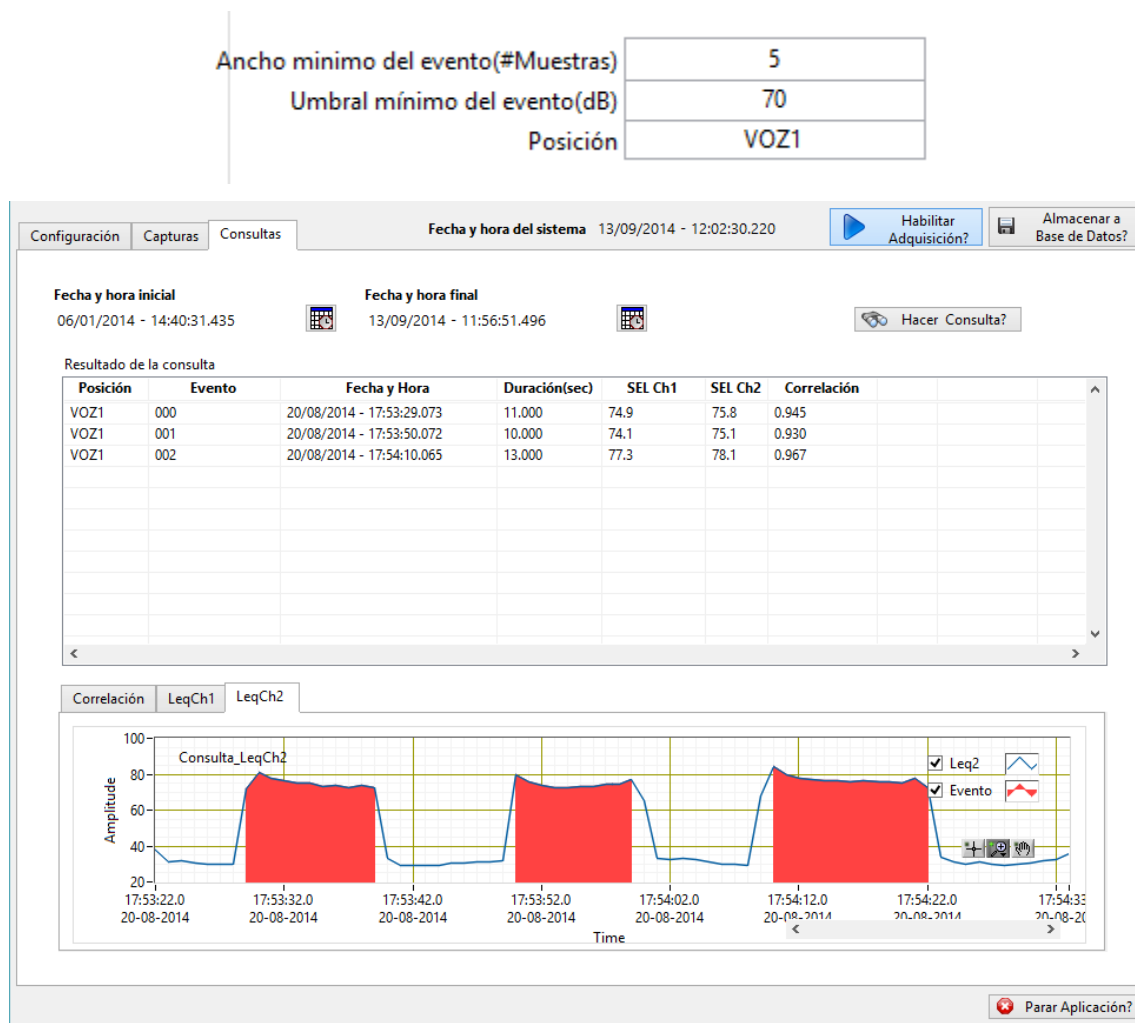


Figura 44. Tabla de resultados mostrando Leq canal 2

Por último se muestra la gráfica de la correlación junto a la tabla de resultados en la figura 45:

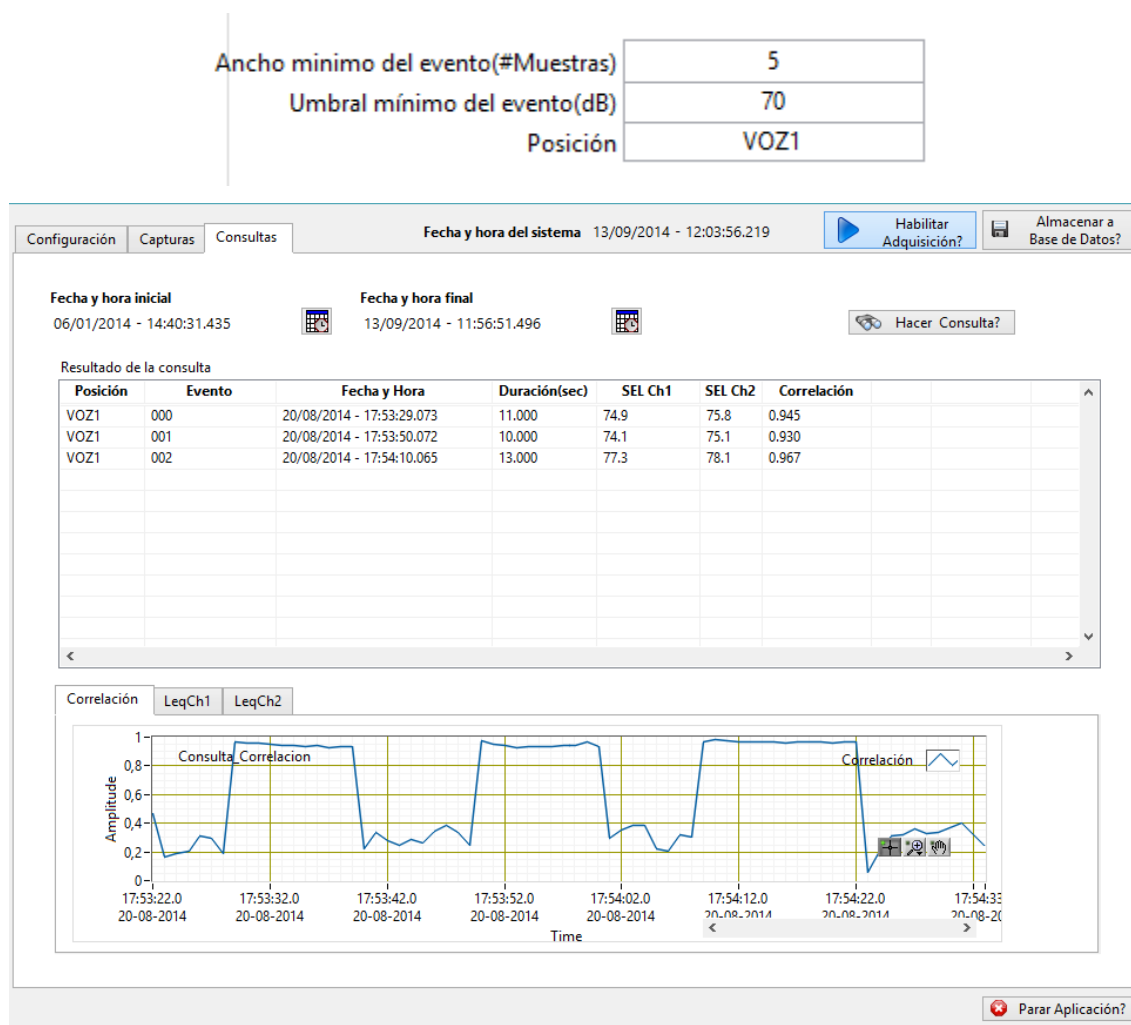


Figura 45. Tabla de resultados mostrando correlación

El valor final dado en la tabla de resultados para cada evento en la columna correlación es prácticamente uno ya que ambos micrófonos captan la misma señal y no hay condiciones externas ni otras señales que influyan en la medida.

Solo fuente de voz con micrófono dentro y otro fuera

Este ejemplo consiste en colocar el micrófono del canal 1 en el interior de la habitación para captar eventos de voz y el micrófono del canal 2 en el exterior por fuera de la ventana. La prueba se realiza desde un segundo piso en horario de tarde. Se coloca el canal detector de eventos dentro ya que la fuente sonora a estudiar está en el interior de la vivienda.

Primero se muestra la tabla resultados con el canal Leq 1 en la figura 46:

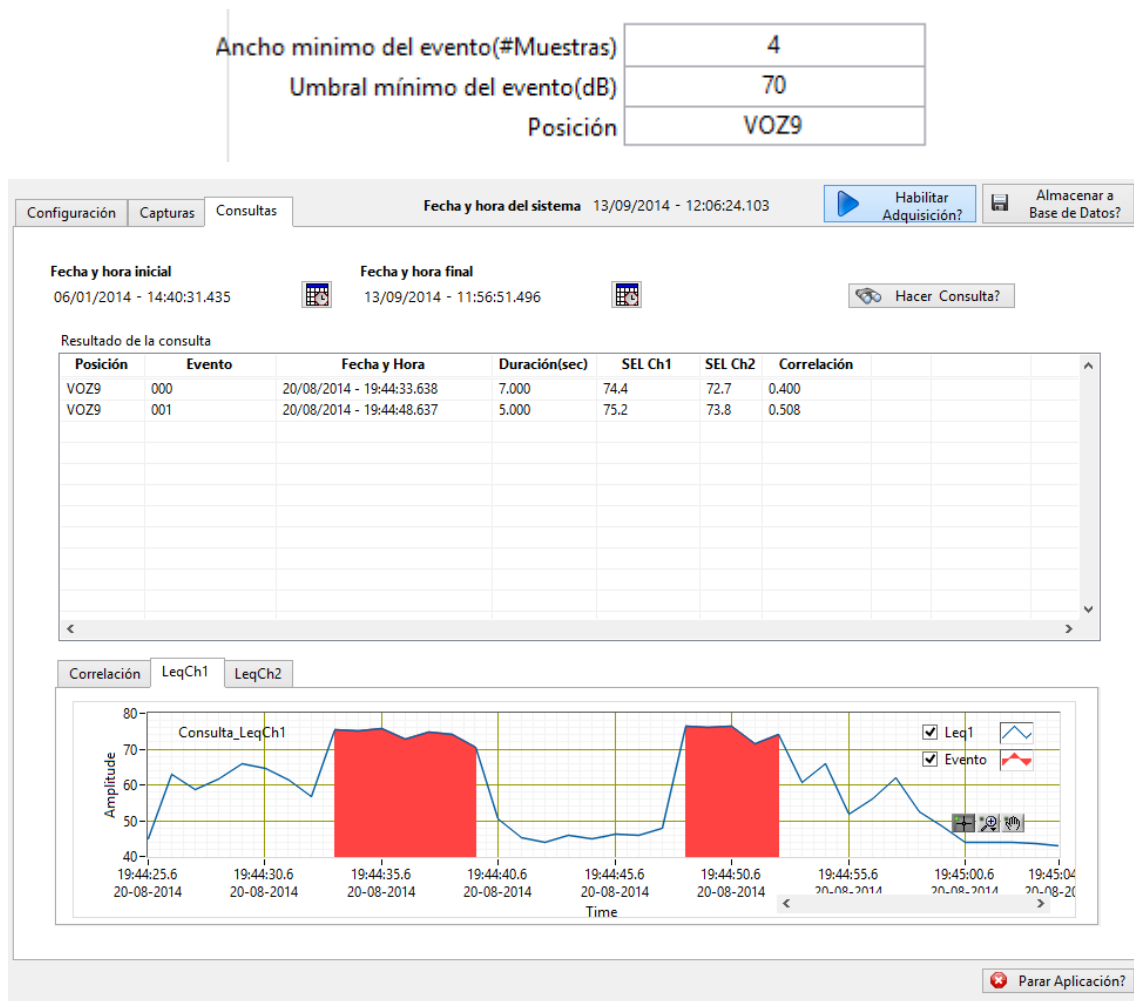


Figura 46. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

Se observa en la tabla que el valor SEL ha cambiado. Al estar el micrófono del canal dos en el exterior captará menos señal de la fuente de voz ya que está a más distancia que el canal uno del locutor, por lo que el SEL del canal 2 será menor al no haber mucho ruido ambiente que influya en su valor.

A continuación se muestra la tabla de resultados con el Leq canal 2 en la figura 47:

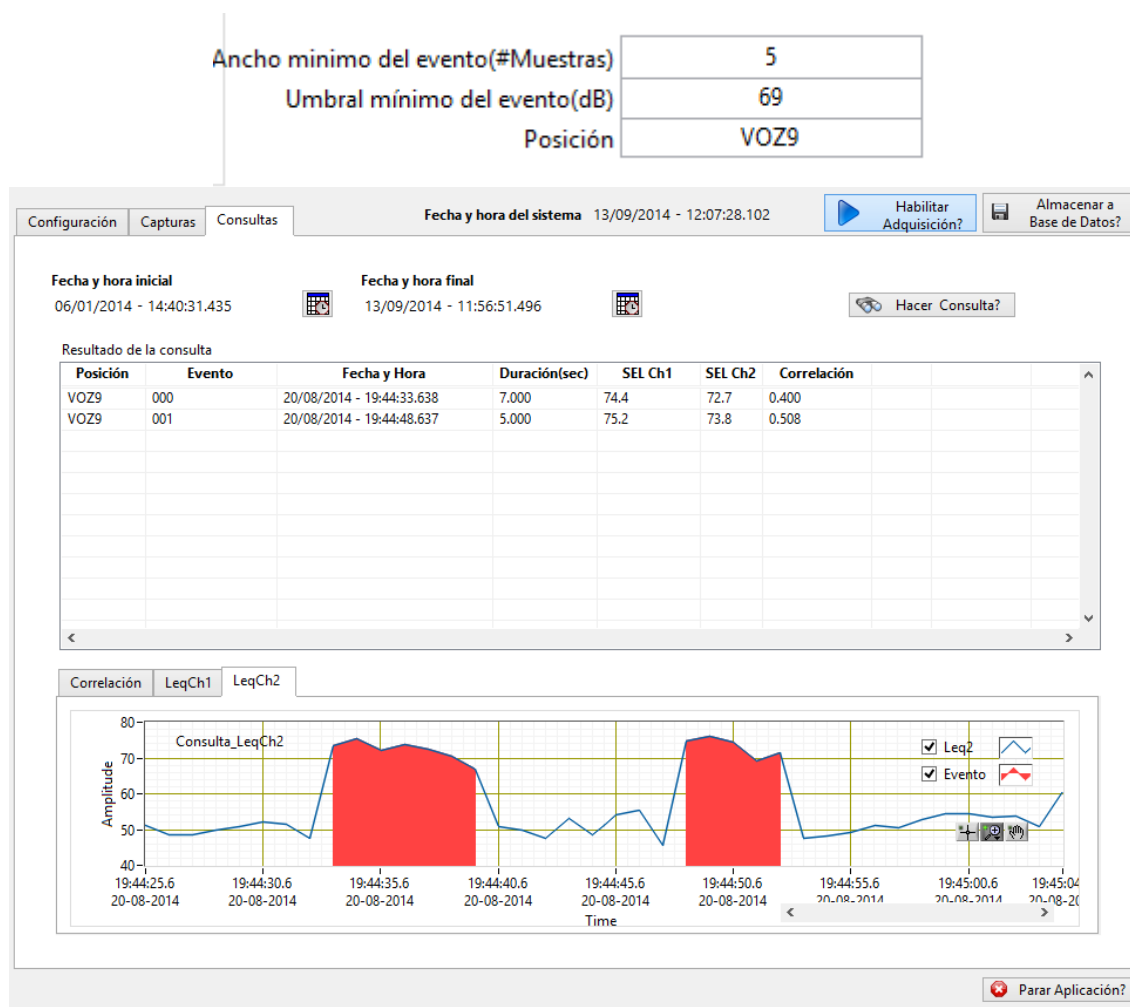


Figura 47. Tabla de resultados mostrando Leq canal 2

A continuación se muestra la gráfica resultados con la de correlación en la figura 48:

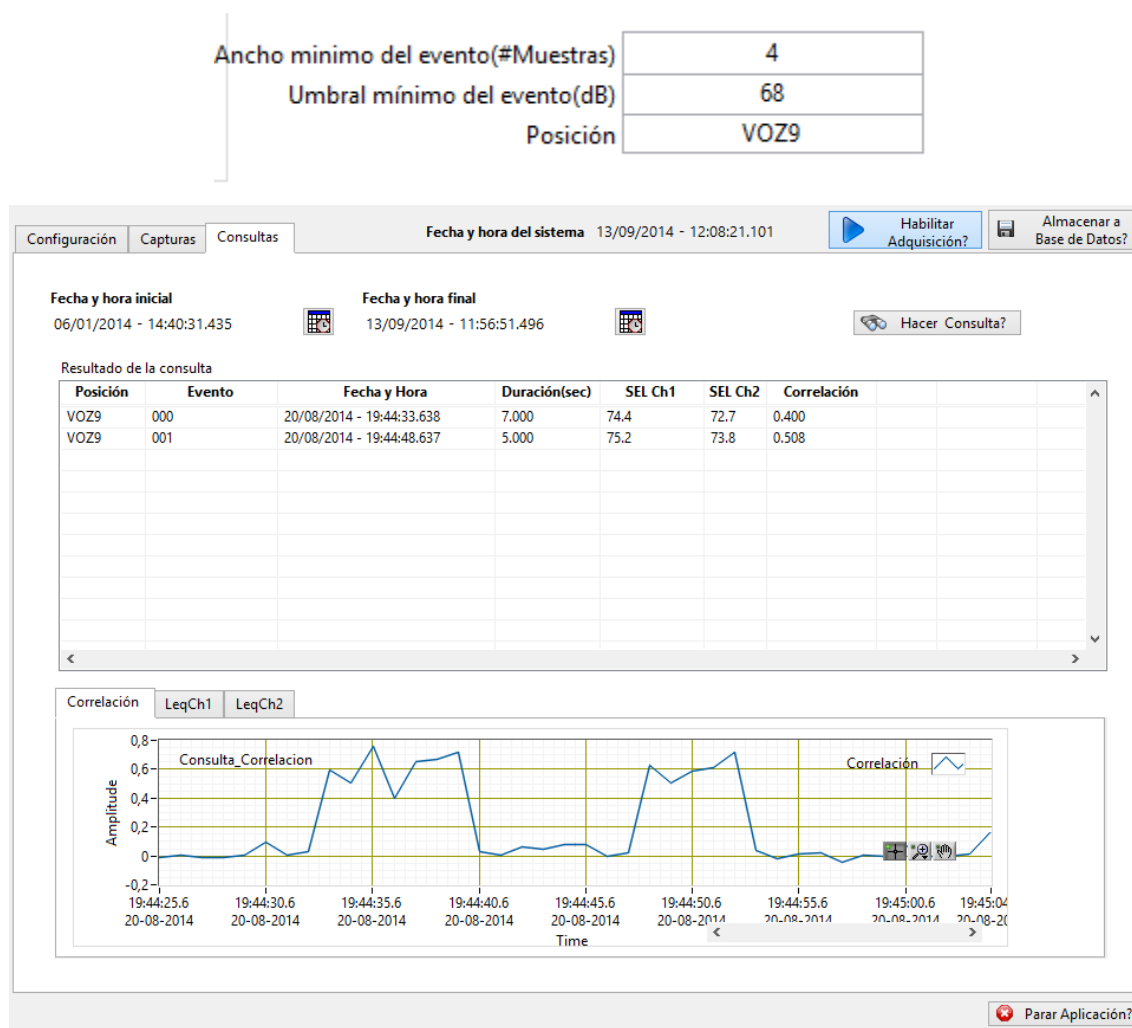


Figura 48. Tabla de resultados mostrando correlación

Esta sigue siendo positiva ya que ambos micrófonos captan señal de la fuente de voz, pero a diferencia del caso anterior, al estar los micrófonos a diferente distancia ya es tan alta al no captar la señal con la misma intensidad.

Solo televisión encendida como fuente sonora con dos micrófonos dentro

Dos micrófonos apuntando a la televisión, juntos y a una misma distancia, se irá subiendo y bajando el volumen de la televisión para crear eventos sonoros al tener diferentes umbrales. La medida se realizará en horario de mañana.

Al ser una única fuente de voz el resultado va a ser muy parecido al ejemplo de fuente de voz.

Primero se muestra la tabla de resultados mostrando el Leq canal 1 en la figura 49:

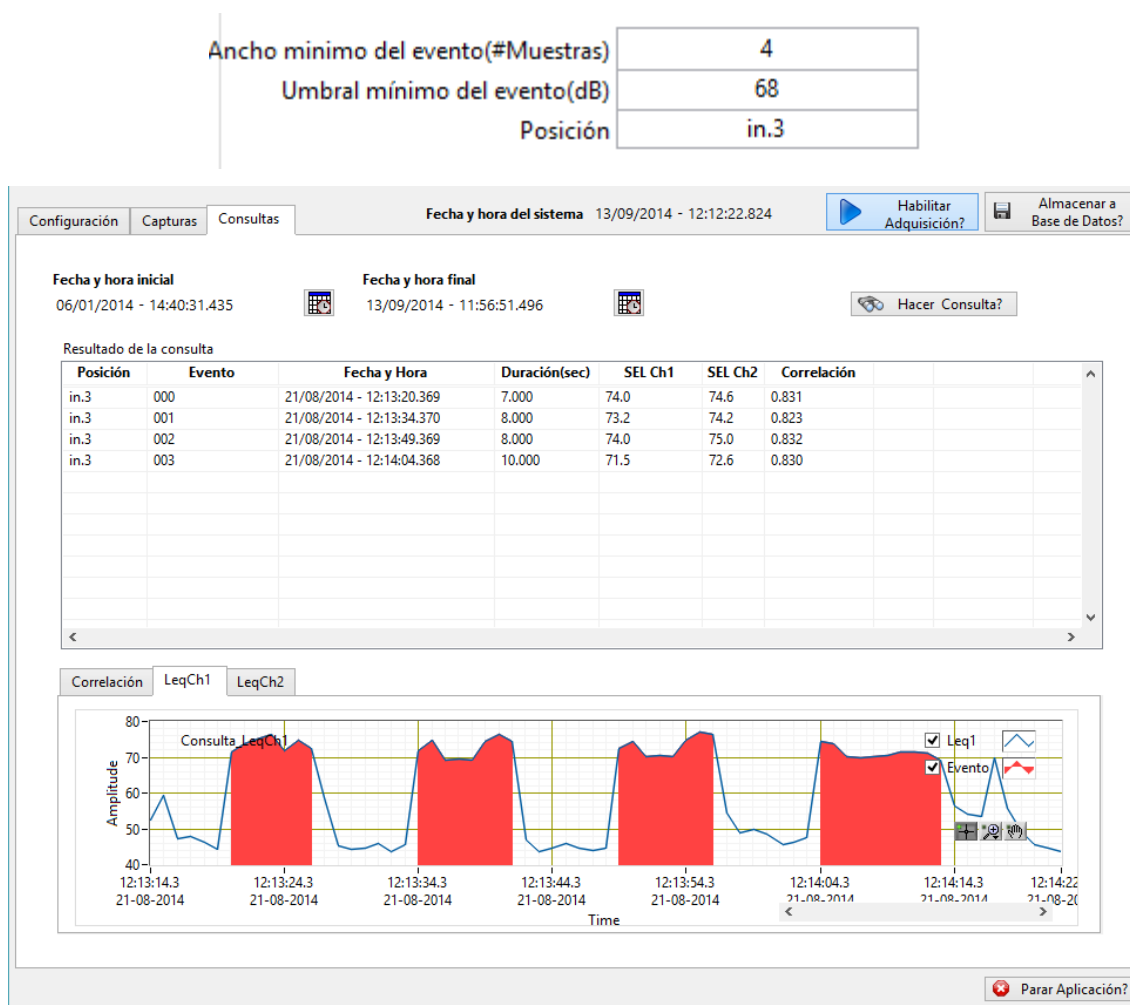


Figura 49. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

Se observa con el SEL es similar al estar los dos micrófonos juntos y a la misma distancia de la fuente.

A continuación el Leq del canal 2 junto a la tabla de resultados en la figura 50:

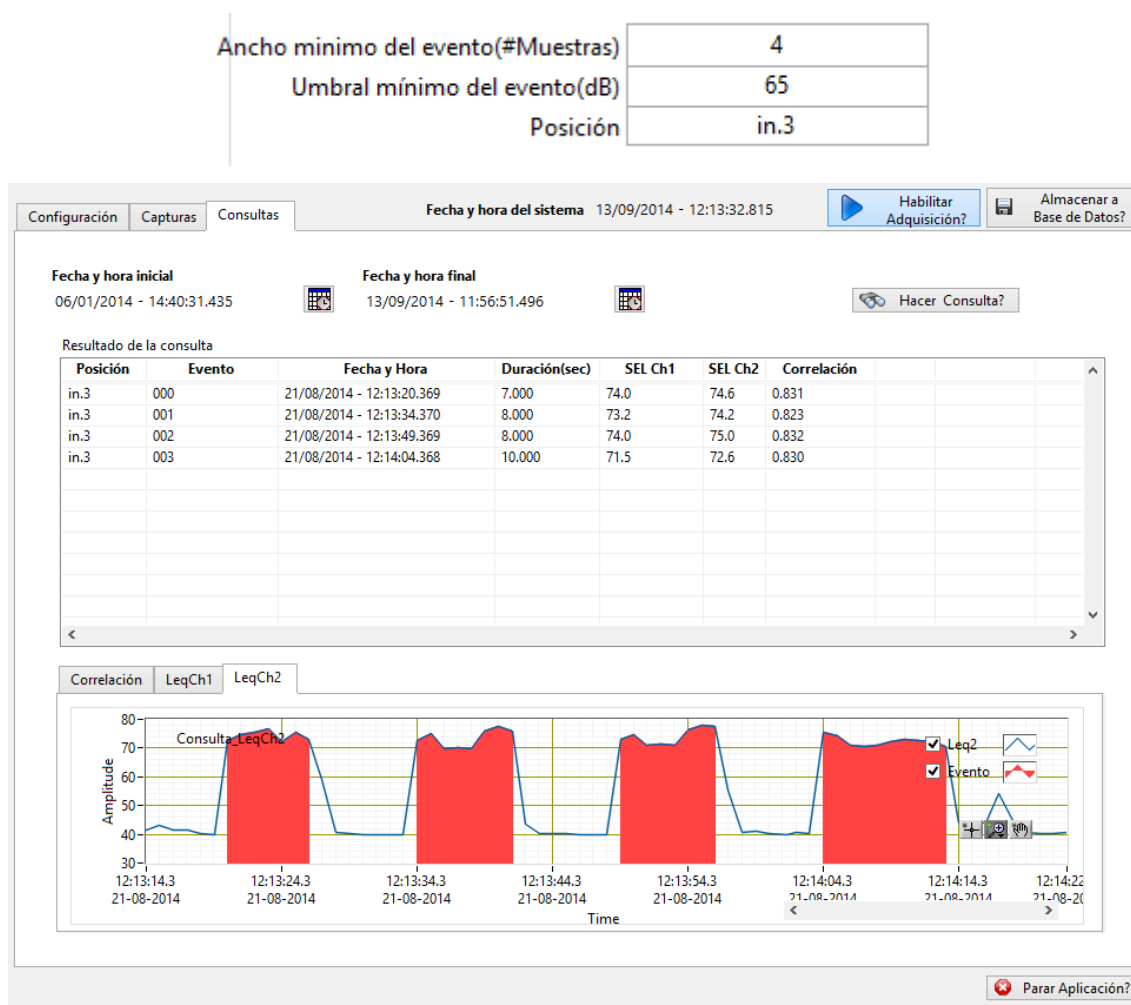


Figura 50. Tabla de resultados mostrando Leq canal 2

Y por último la tabla resultados junto con la correlación en la figura 51:

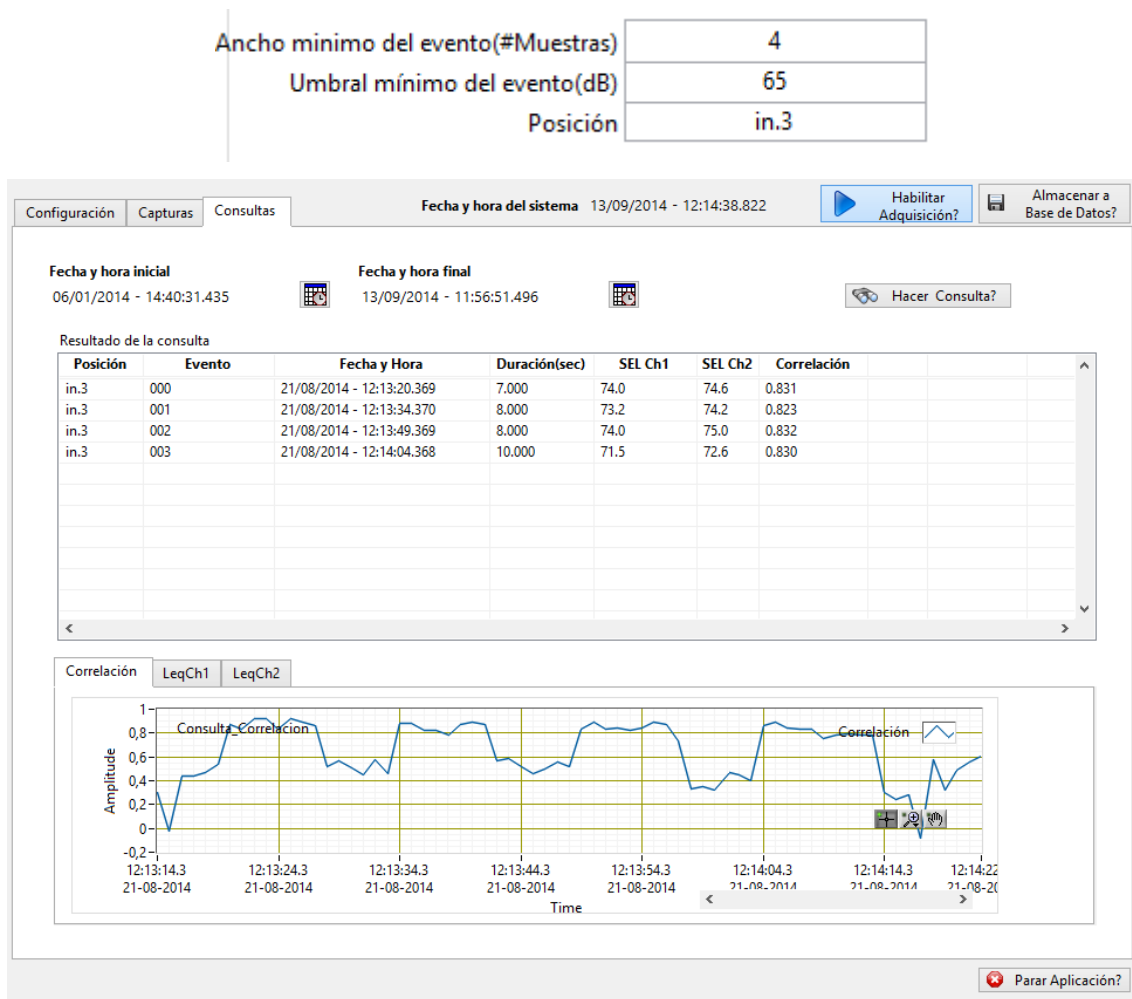


Figura 51. Tabla de resultados mostrando correlación

Se observa que es muy próxima a uno igual que el ejemplo anterior de la fuente de voz. Es algo más baja ya que la fuente sonora no está localizada tan cerca de los micrófonos.

Solo televisión encendida como fuente sonora con micrófono dentro y micrófono fuera

Se coloca el micrófono del canal 1 para captar eventos en el interior de la habitación y el micrófono 2 fuera de esta, se irá modificando el volumen de la televisión para crear eventos sonoros. La medida se realizó desde un segundo piso en horario de mañana. Primero se muestra la tabla de resultados y el canal Leq 1 en la figura 52:

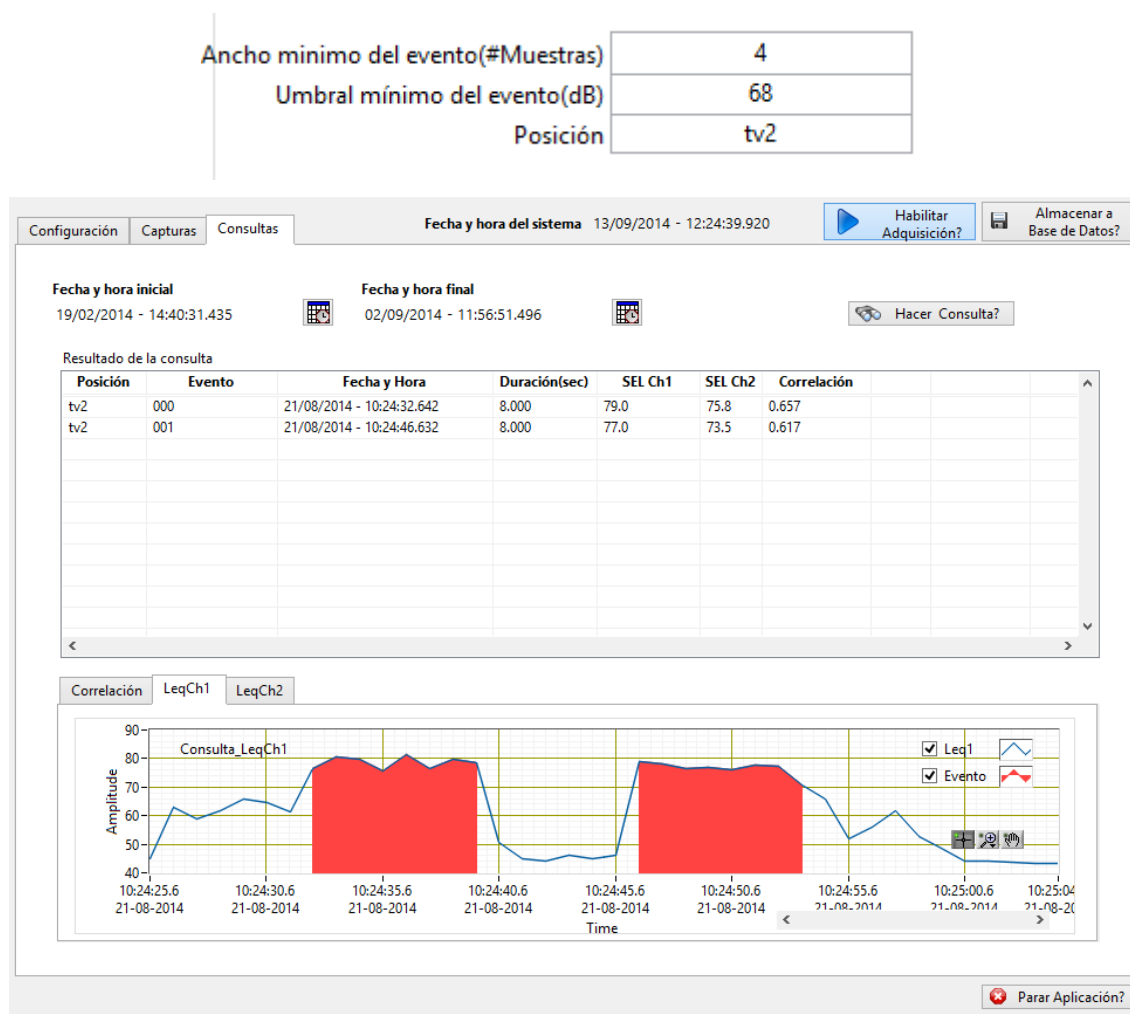


Figura 52. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

Se observa en la figura 52 que al haber más ruido en el exterior el valor del SEL del canal 2 es mayor que en el ejemplo de la figura 46. De la misma forma aumenta también el valor SEL del canal 1, lo que demuestra la influencia de las condiciones ambientales externas en la medida realizada.

A continuación se muestra la tabla de resultados con el Leq canal 2 en la figura 53:

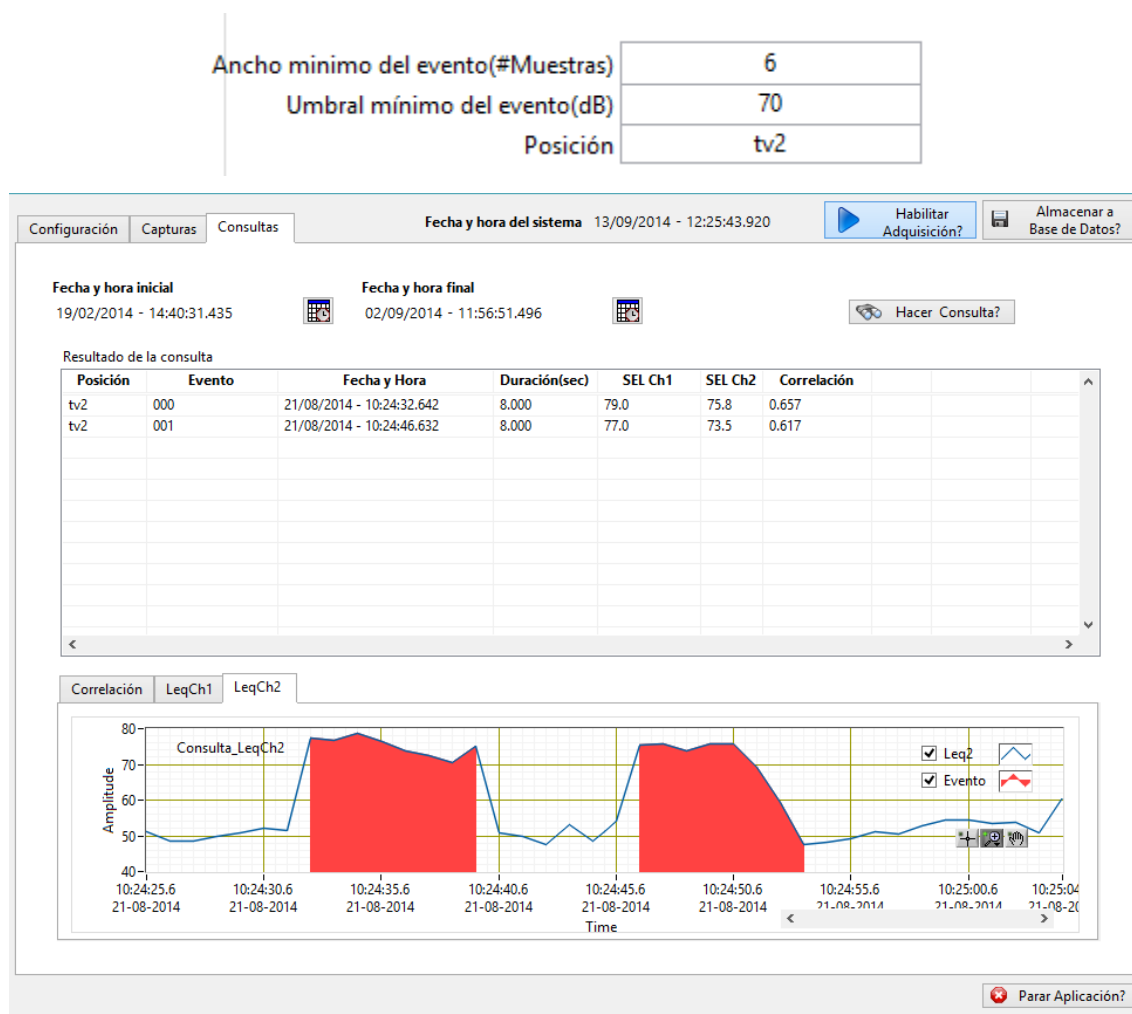


Figura 53. Tabla de resultados mostrando Leq canal 2

Por último se muestra el resultado de la correlación en la figura 54:

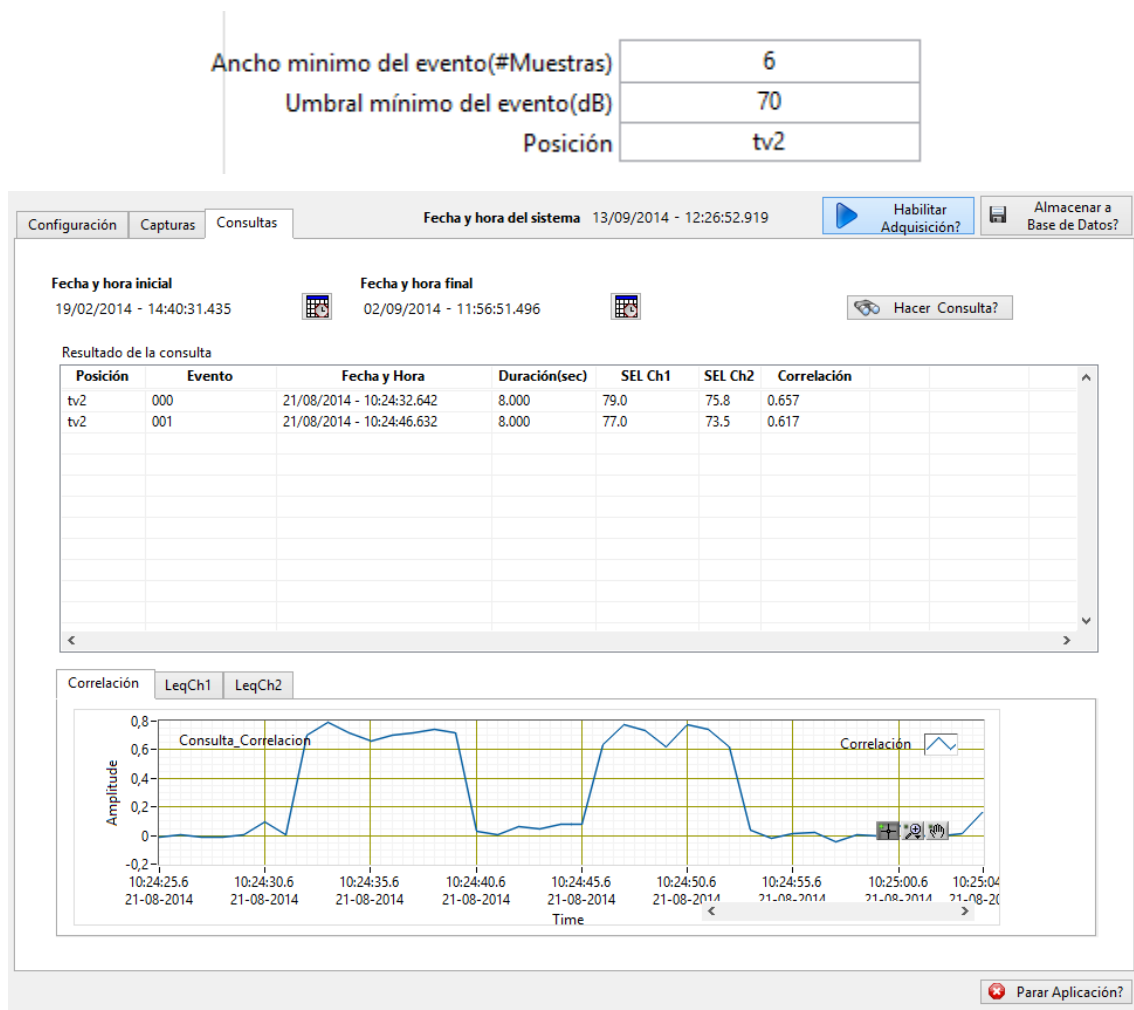


Figura 54. Tabla de resultados mostrando correlación

Al haber más influencia del ruido del exterior la correlación es más alta ya que el micrófono 1 del interior capta más del exterior que en el caso de la figura 48, por lo tanto ambos micrófonos reciben una señal más parecida ya que en el caso de la voz el micrófono del canal 1 apenas captaba ruido exterior.

Como se ha demostrado los resultados de dos fuentes sonoras individuales es más o menos el mismo cuando los micrófonos de medida se encuentran en el interior de la habitación siempre que la distancia entre fuentes y micrófonos y las condiciones ambientales internas sean similares, y pueden variar cuando uno de los micrófonos esta fuera debido a las condiciones exteriores que tengan lugar en el momento de la medida ya que es más complicado tener todo el rato el mismo ambiente en el exterior que en el interior de una vivienda.

4.5 Experimento 5: fuentes sonoras simultáneas

En este experimento las dos fuentes sonoras anteriores (voz y televisión) no se trataran de forma individual sino de forma simultánea. Se elegirán varios umbrales y varios anchos para detectar eventos y a continuación se comentaran los resultados. Se verá cómo influye una fuente en la otra. Además se comparan los resultados de los SEL y correlación obtenidos por canal. La medida se realiza en el interior de la misma localización que el experimento 4 en horario de mediodía.

La televisión se dejará puesta mientras dura la medida sin variar el volumen, estando este al máximo, mientras se harán locuciones de voz con paradas entra cada locución.

Para diferenciar con el experimento 4 de las fuentes sonoras individuales se elegirá un umbral de 70 dB que era el umbral aproximado elegido para captar eventos en el ejemplo de la fuente sonora individual televisión. El sistema devolverá un solo evento de toda la medida realizada por encima de dicho umbral, donde se tendrán todas las componentes sonoras de voz y televisión. Eligiendo umbrales como se verá a continuación se podrán diferenciar ambas fuentes.

Primero se mostrara la tabla de resultado mostrando el Leq canal 1 en la figura 55:

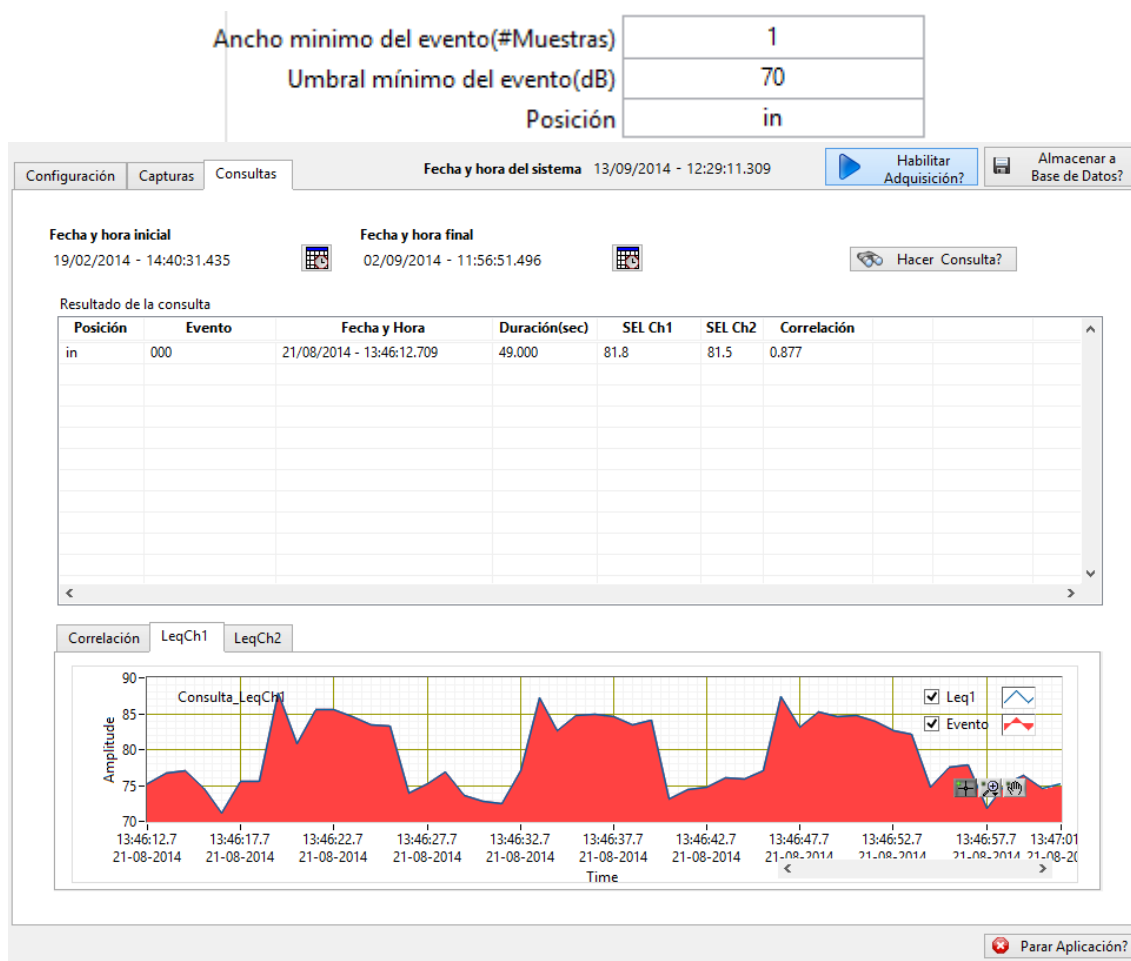


Figura 55. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

A continuación la tabla resultados mostrando Leq canal 2 en la figura 56:

Ancho mínimo del evento(#Muestras)	1
Umbral mínimo del evento(dB)	70
Posición	in

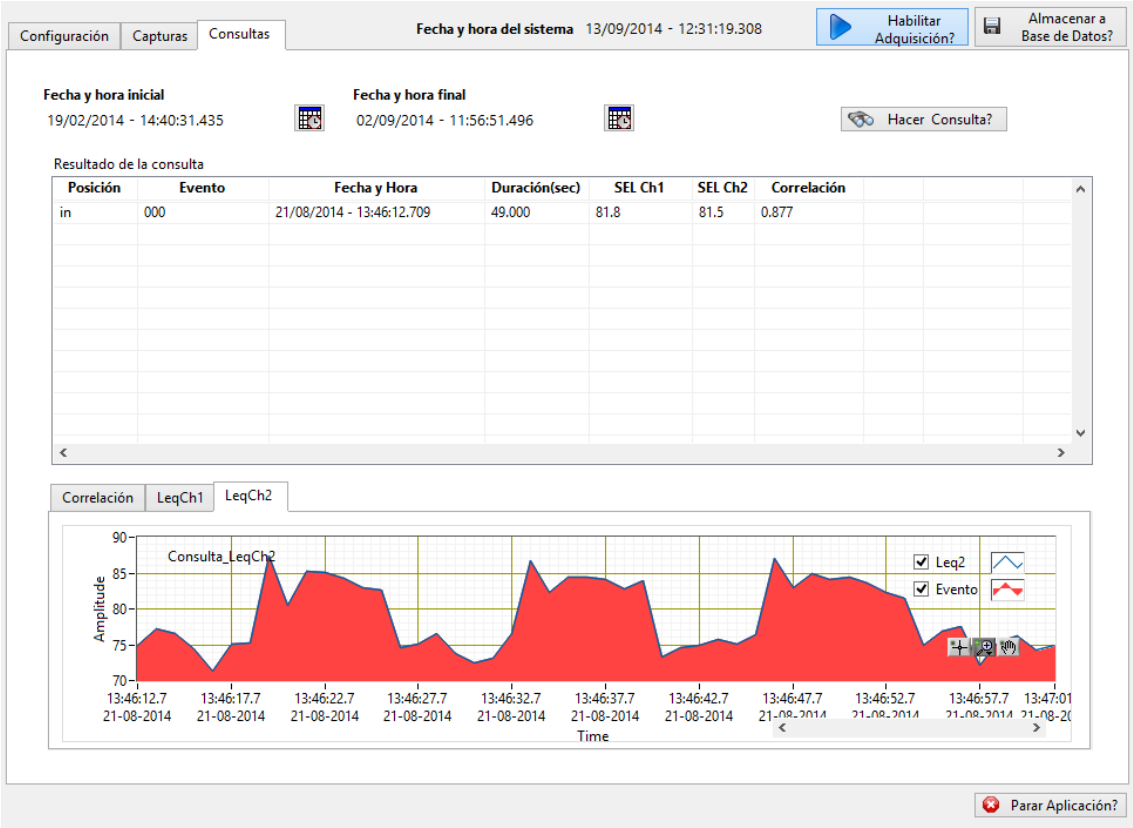


Figura 56. Tabla de resultados mostrando Leg canal 2

Por último la tabla de resultados mostrando la gráfica de correlación en la figura 57:

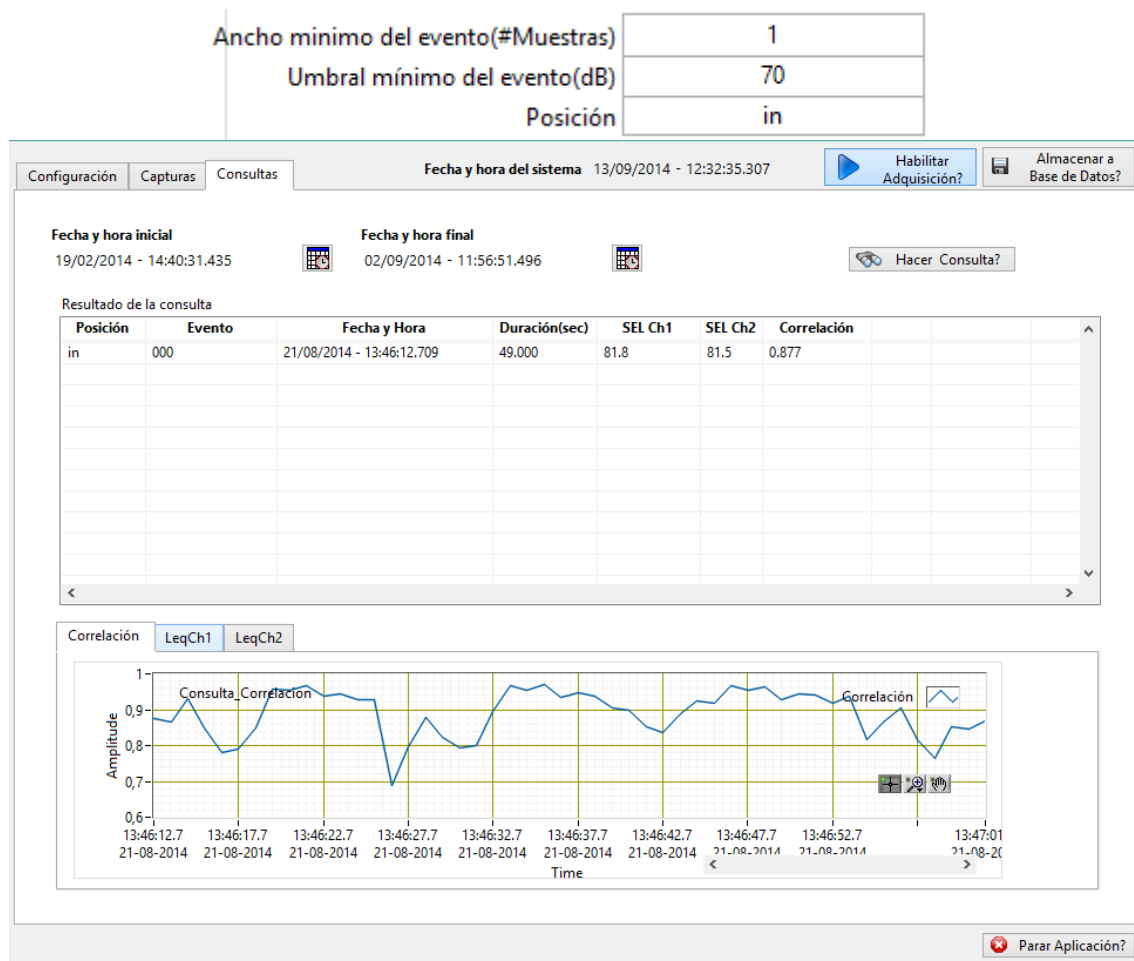


Figura 57. Tabla de resultados mostrando correlación

Nota: A partir de ahora en vez de mostrar los resultados de las tres gráficas solo se mostrarán las del canal detector del evento (en este caso Leq1). El resto se mostrará solo si es importante en el experimento para no ser repetitivo.

A continuación se elegirá un umbral 74. Debido a este, irán apareciendo ya eventos individuales de componentes de voz y televisión. En este ejemplo los eventos tienen componentes de ambas fuentes o de una sola:

- **Evento 000:** en ese momento el locutor estaba callado, por lo tanto la fuente sonora presente en el evento es la televisión.
- **Evento 001:** es un evento donde están presentes ambas fuentes, las dos primeras muestras son de la fuente de la televisión ya que el locutor permanece en silencio. Las siete siguientes son de ambas fuentes ya que el locutor empieza a hablar, aunque predomina la de voz al tener un nivel sonoro mayor (por encima

de 80 dB). Mientras que las tres últimas el locutor se calla y vuelve solo a estar presente la fuente de la televisión.

- Los **eventos 002 y 003** son similares al anterior, las muestras cuyo umbral este por debajo de 80 dB son exclusivamente de la fuente sonora televisión y las que están por encima son de ambas fuentes destacando la fuente sonora de voz.

Los valores SEL de ambos canales son parejos al estar los dos micrófonos a la misma distancia de la fuente y juntos, mientras que por esta misma razón la correlación es alta y próxima a uno.

Se muestra la tabla de resultados junto al Leq canal 1 en la figura 58:

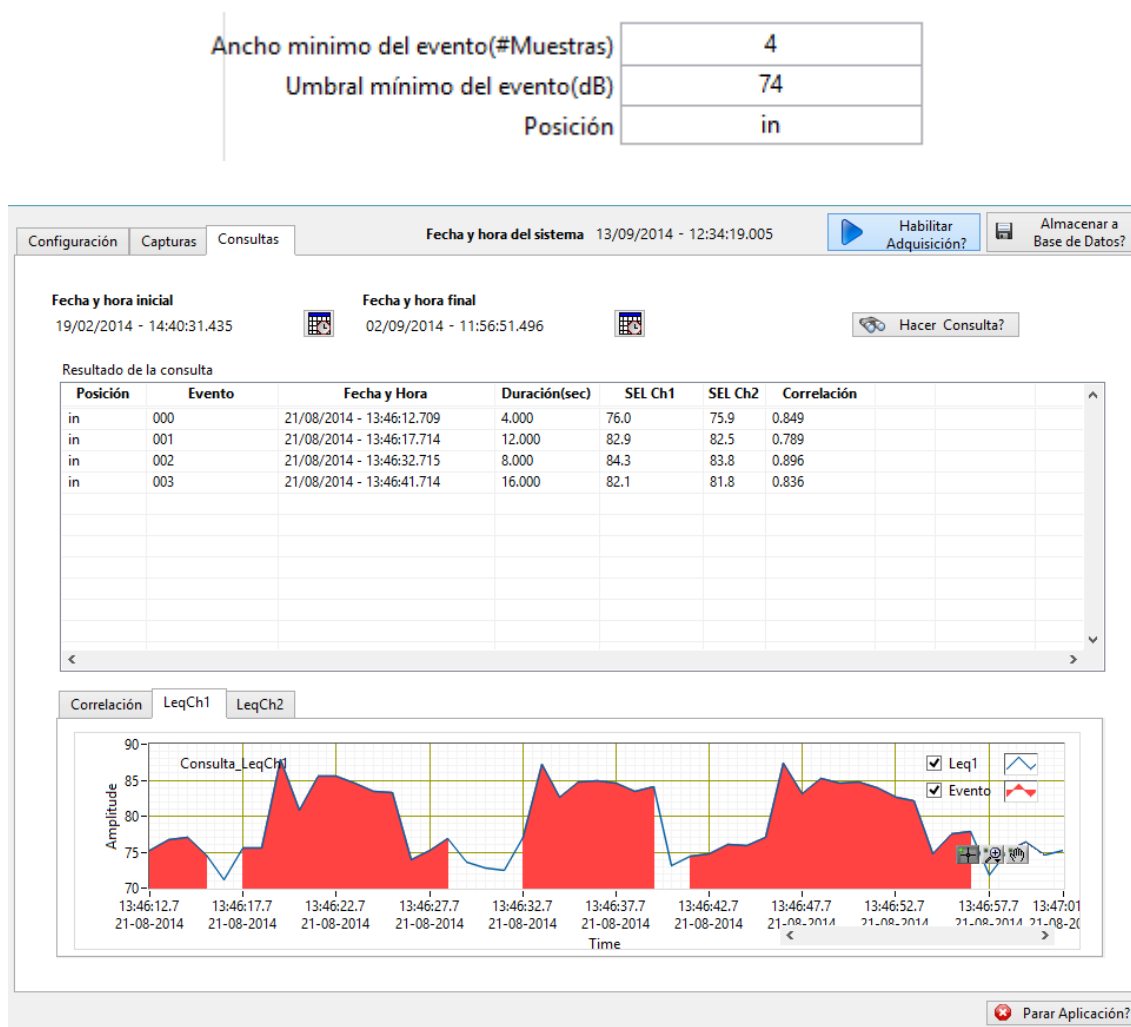


Figura 58. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

Por último se elige un umbral de 80 dB, el resultado se muestra en la figura 59:

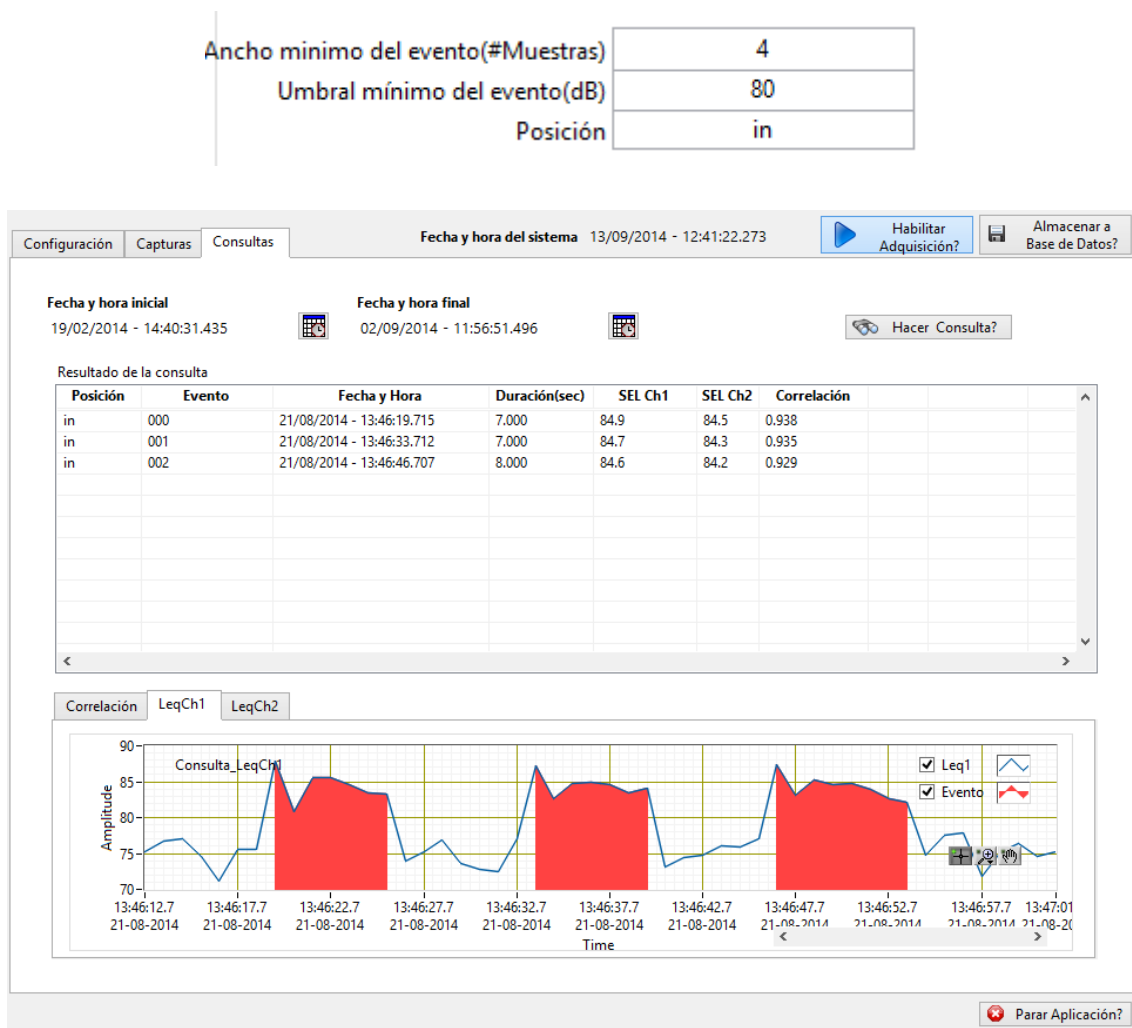


Figura 59. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

Como ya no hay eventos exclusivos de la fuente sonora televisión. Los que hay son de ambas fuentes captadas de forma simultánea. Al estar la fuente de voz más próxima a los micrófonos que la fuente de televisión, la primera enmascara prácticamente a la segunda al presentar más nivel y esto supone que el resultado de la correlación se aproxime más a uno. Si se comparan ambas gráficas (figuras 58 y 59) se aprecia que los valores de correlación varían en la tabla de resultados. Viendo los eventos obtenidos en ambas se observa que salvo en el evento 000 de la primera gráfica que está formado por muestras únicamente de la fuente televisión (este evento no aparece el estar por debajo del umbral 80 dB en este caso), el resto de eventos quitando las muestras en cada uno de ellos (por debajo del umbral 80 dB) que son exclusivas de la fuente de televisión, coinciden. Al estar los micrófonos más lejos de la fuente sonora televisión los datos de correlación de esta cuando el locutor no habla aun siendo altos son un poco más bajos

que los de la fuente voz. Cuando el usuario coloca un umbral de 80 dB las componentes exclusivas de televisión no forman parte ya del evento. Al no tener esa influencia la correlación aumenta y se aproxima más aun a 1.

De la misma manera, los valores Leq segundo a segundo captados por los micrófonos proveniente de la voz son mayores al estar estos más cerca de la fuente. Por lo tanto en este caso y al no tener el evento muestras exclusivas de la fuente televisión, el valor SEL de cada evento es más elevado.

Una conclusión de este ejemplo es que en el caso de que haya dos fuentes sonoras a diferente nivel, una enmascara a otra y eso influye en los valores de SEL y correlación.

Otra sería que si se colocan dos micrófonos juntos apuntando a una fuente sonora, cuanto más cerca esté la fuente de estos ,más próxima a uno será la correlación debido a que habrá menos agentes externos que interfieran. De la misma forma en este caso, cuanto más cerca esté la fuente sonora del micrófono más nivel captara este, por lo tanto el valor SEL será mayor.

4.6 Experimento 6: fuente sonora exterior vivienda

En este experimento la fuente sonora estará en el exterior una vivienda. La medida se hace desde un segundo piso en horario de mediodía. En la calle un coche pitara durante instantes de tiempo. El micrófono detector de eventos canal 1 se colocará en el exterior de la vivienda y el micrófono del canal 2 en el interior ya que la fuente sonora a estudiar está fuera. Este ejemplo es equiparable a uno de los objetivos propuestos para este proyecto: medir y detectar hipotéticos eventos producidos por ruido de aviones que afectan a una vivienda cercana al aeropuerto. En este segundo caso el proceso sería el mismo que en este experimento: se coloca el micrófono detector de eventos en el exterior de una casa y otro en el interior. Se detectaran los hipotéticos aviones que pasen en un determinado espacio de tiempo (equiparables a los eventos provocados por el coche pitando). Se numerarían los eventos producidos, se clasificarían y por último se evaluaría el SEL y correlación de cada avión. Al no disponer de una localización adecuada para medir ruido de aviones se realiza este experimento que simula ese caso para demostrar que también funcionaria en esa situación. Independientemente que la

fuerza sonora sea un pito de un coche o un avión, el sistema de medida detecta eventos a partir de unas condiciones de umbral y ancho de la misma manera para cualquier fuente. Por lo tanto si funciona con una fuente sonora funcionará con todas.

A continuación se muestra la tabla resultados mostrando el canal Leq 1 en la figura 60:

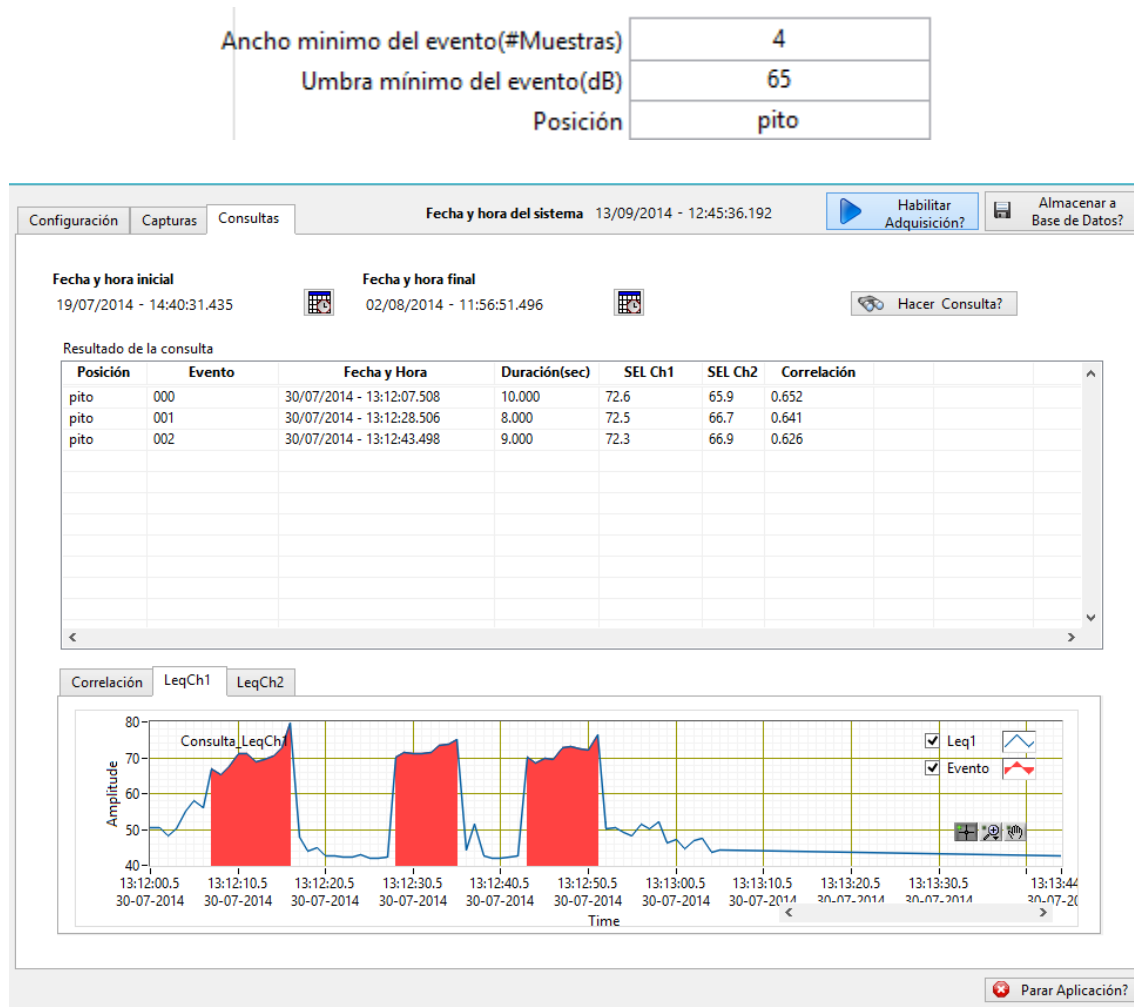


Figura 60. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

Se captan tres eventos, en el caso hipotético que se estuviera midiendo aviones, se hubieran detectado tres. La diferencia entre los valores SEL es debida a la influencia del ruido externo, además se cerraron las dos ventanas aislando más el interior de la vivienda. La correlación es alta ya que ambos micrófonos están captando la misma señal. No es tan alta, por ejemplo, como cuando se apuntan dos micrófonos juntos a la

boca de un locutor, porque el micrófono del exterior capta ruido ambiente a diferencia del micrófono del interior, además de no estar ambos a la misma distancia de la fuente.

4.7 Experimento 7: fuentes sonoras aisladas

En este experimento se estudiará cómo funciona el sistema cuando hay dos fuentes sonoras captadas por dos micrófonos sin apenas correlación entre ambos y que pasaría cuando el micrófono que detecta eventos (canal 1) capta menos nivel que el micrófono del canal 2.

Se colocará un locutor (canal 1) en un pasillo en el exterior de una vivienda y se cerrará la puerta de la casa. La prueba se realizará en horario de mediodía. Se harán locuciones de voz hablando bajo por no molestar a los vecinos colindantes. Como se disponen de 12 metros de cable (6 por cada micrófono), se colocará otro micrófono (canal 2) en una habitación en la otra punta del interior de la casa, apuntando a un altavoz de un ordenador de tal manera que apenas un micrófono capta la fuente de otro. Desde el ordenador donde capta el canal 2 se lanzaran videos desde youtube de despegues de aviones variando manualmente el volumen.

Se muestra la tabla de resultados mostrando el Leq canal 1 en la figura 61:

Ancho minimo del evento(#Muestras)	10
Umbral mínimo del evento(dB)	0
Posición	Voz2

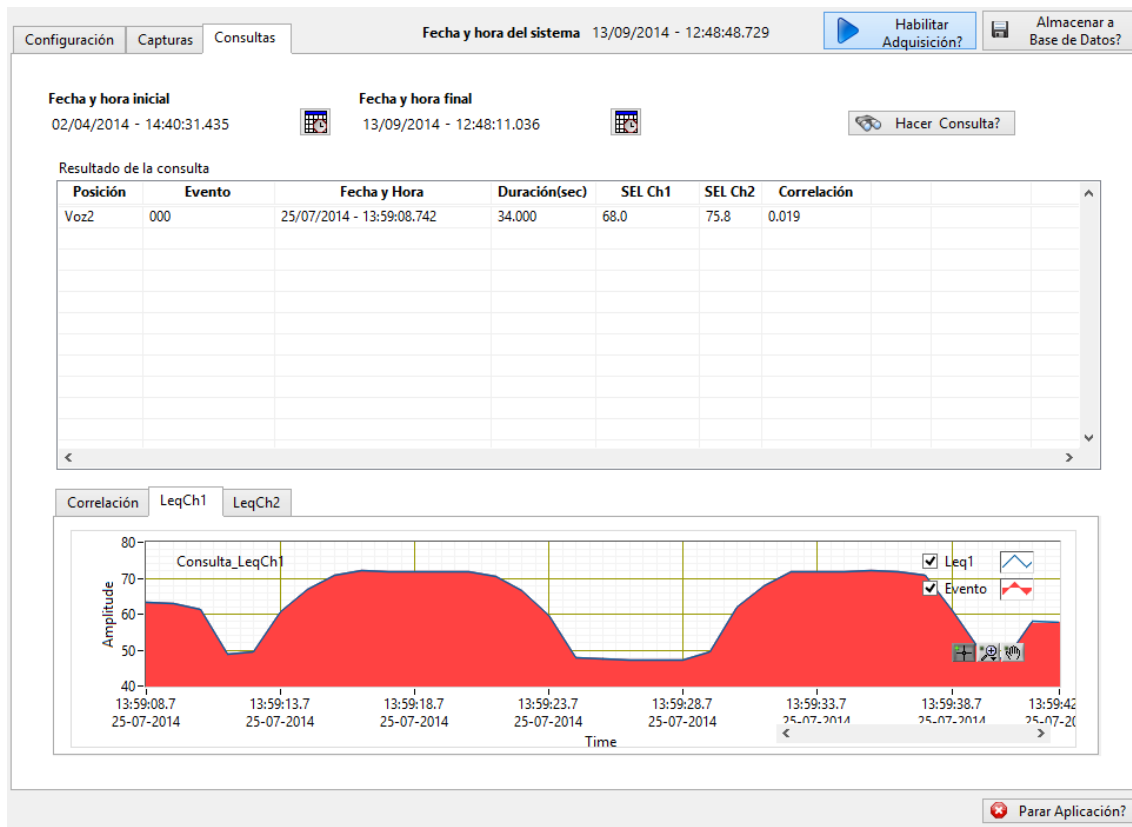


Figura 61. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

Se elige un umbral de 0 dB que permite obtener un evento de toda la medida. La tabla de resultados muestra una correlación de 0.019, que es prácticamente 0, lo que significa que un micrófono no capta de la fuente del otro. Ambos captan señales totalmente diferentes.

A continuación se detectan eventos.

Se muestra el canal Leq 1 junto a la tabla de resultados en la figura 62 eligiendo un umbral de 60 dB:

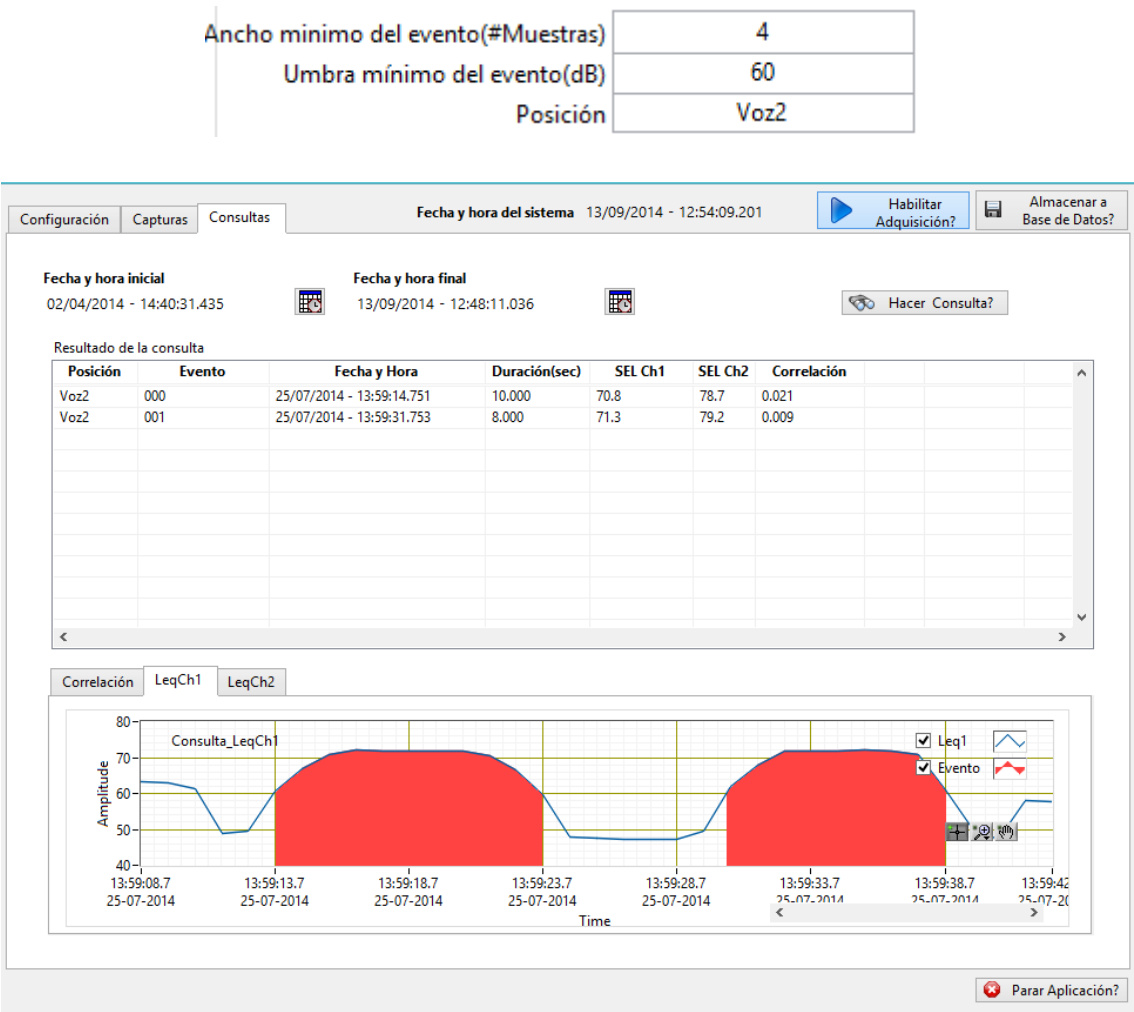


Figura 62. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

En la tabla de resultados se aprecia como la correlación de ambos eventos es prácticamente 0 y el valor SEL del canal 2 es mayor que el del canal uno. Aunque el canal 1 detecte eventos no tiene porque ser su SEL siempre mayor como estaba pasando hasta ahora. Depende de las fuentes sonoras captadas por cada micrófono.

Por último se muestra la correlación de toda la consulta en la figura 63:

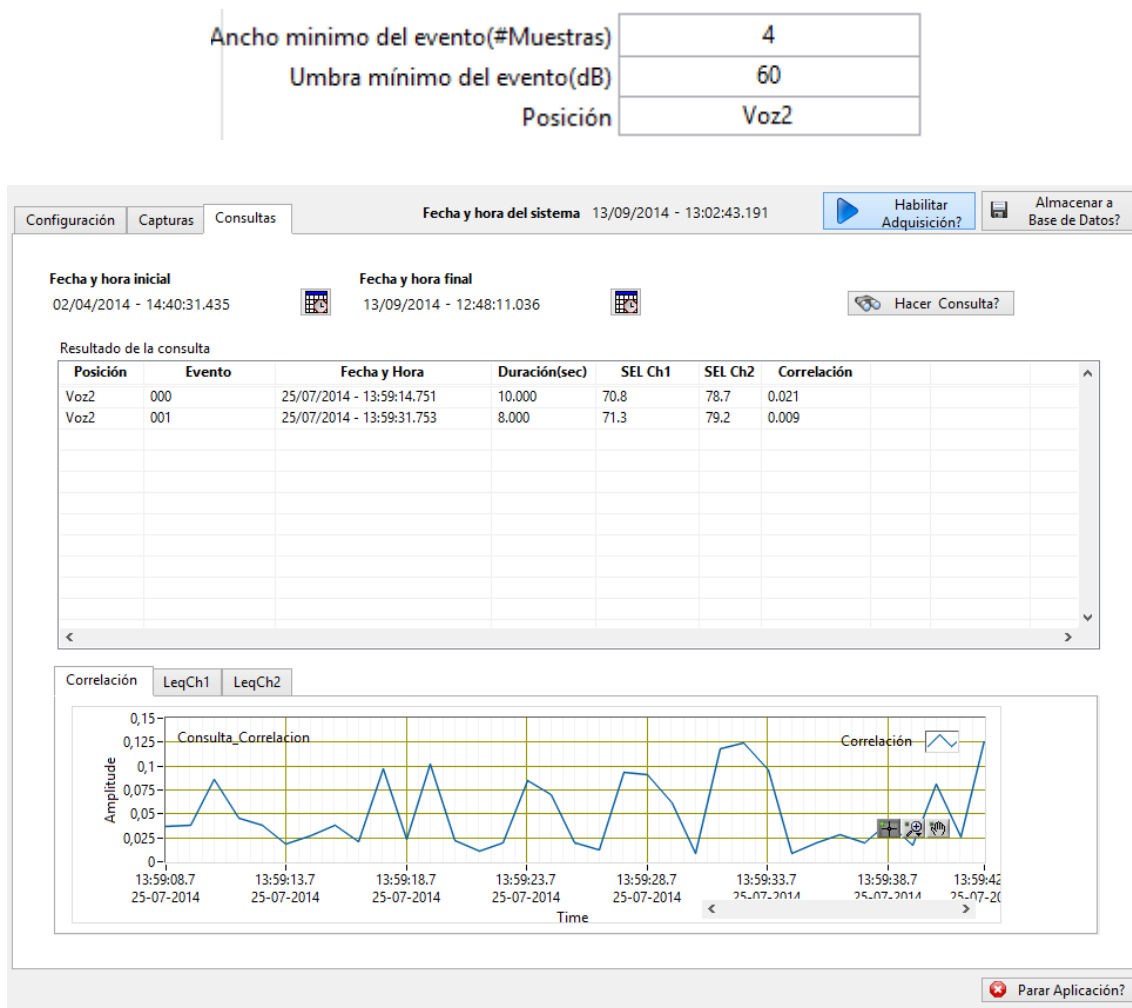


Figura 63. Tabla de resultados mostrando correlación

Los valores de cada coeficiente de correlación como se observa en el eje Y (Amplitude) de la gráfica son muy cercanos a cero.

4.8 Experimento 8: detección de vehículos

Este experimento se hace en una localización exterior, una calle de una urbanización poco transitada y muy tranquila en horario nocturno. El sistema de medida estará dentro de un coche. Un micrófono se colocara fuera de este y otro dentro. Se detectaran coches pasando por una carretera como eventos.

Se muestra la tabla de resultados y el Leq canal 1 en la figura 64:

Ancho mínimo del evento(#Muestras)	4
Umbral mínimo del evento(dB)	53
Posición	coc

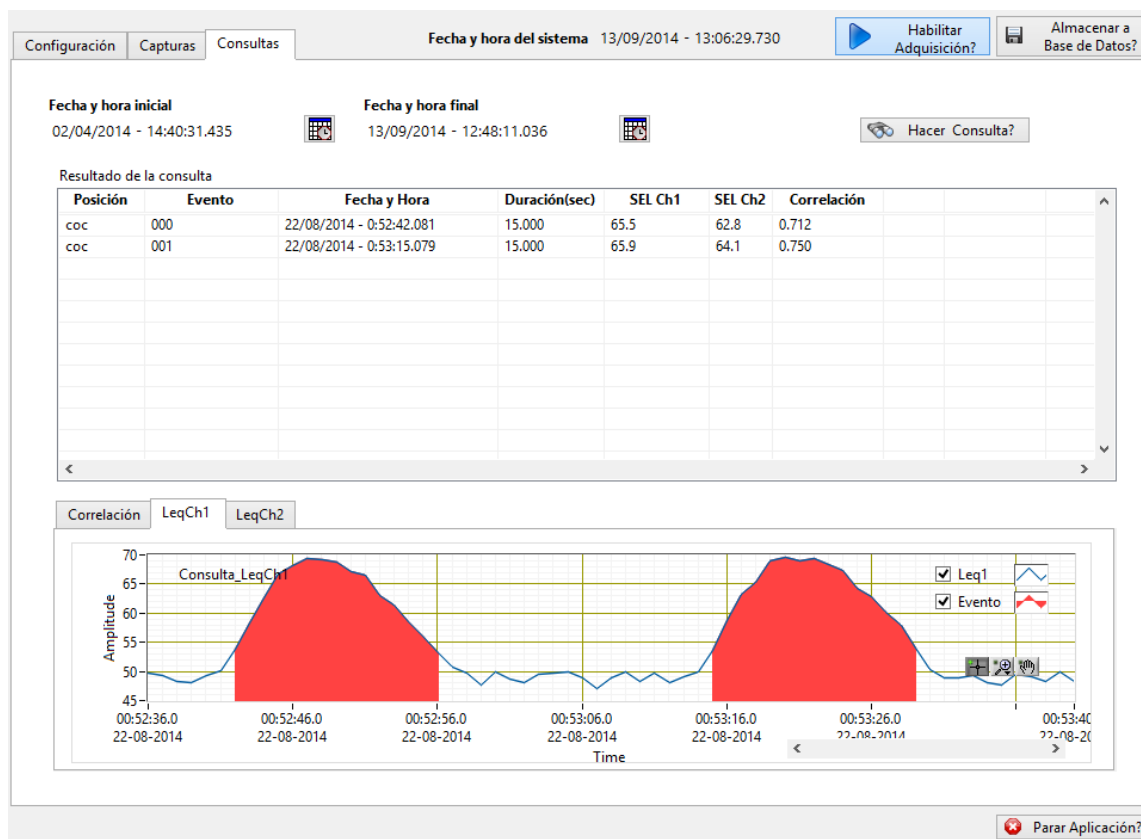


Figura 64. Tabla de resultados mostrando Leq canal 1

Al no existir prácticamente aislamiento en el coche el valor de los SEL es muy parecido. De la misma forma la correlación es alta ya que ambas señales captan una señal muy parecida, a excepción del ruido ambiente externo e interno del coche, captado por el micrófono correspondiente.

A continuación se muestra la tabla de resultados con el Leq canal 2 en la figura 65:

Ancho minimo del evento(#Muestras)	4
Umbral mínimo del evento(dB)	53
Posición	coc

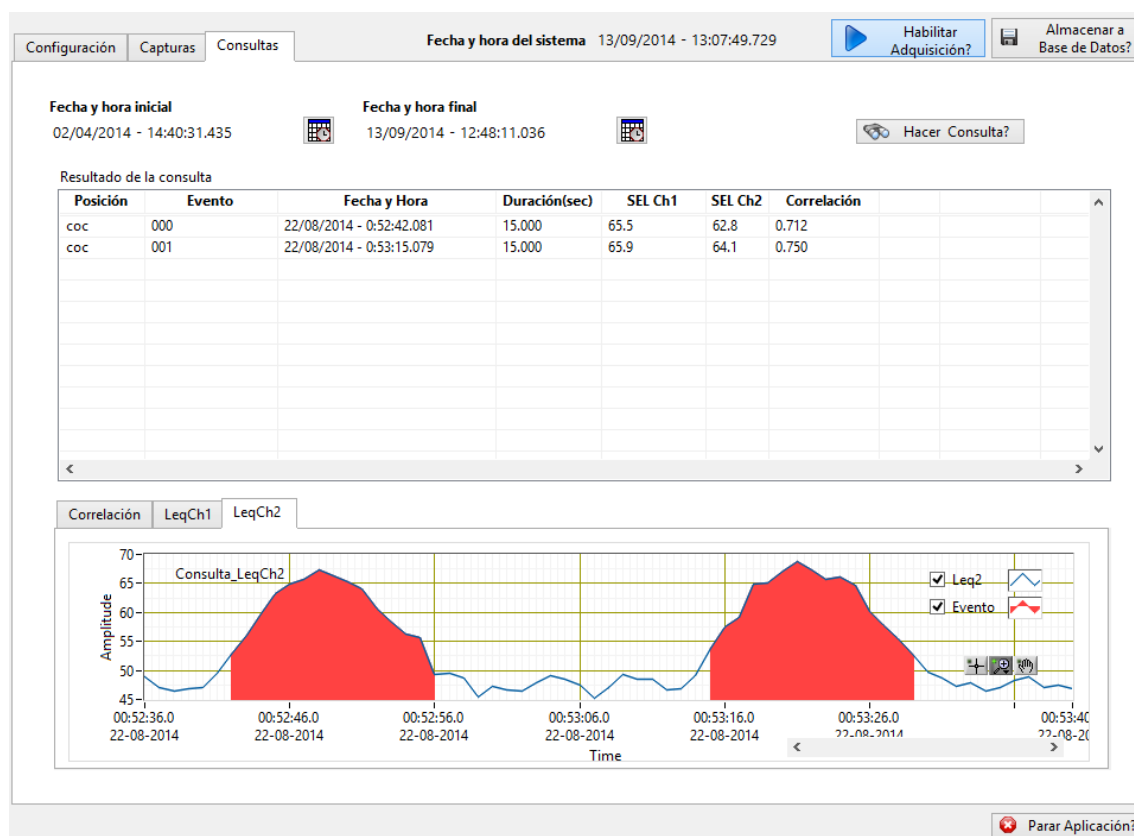


Figura 65. Tabla de resultados mostrando Leq canal 2

Y por último la tabla de resultados mostrando la correlación en la figura 66:

Ancho minimo del evento(#Muestras)	4
Umbral mínimo del evento(dB)	53
Posición	coc

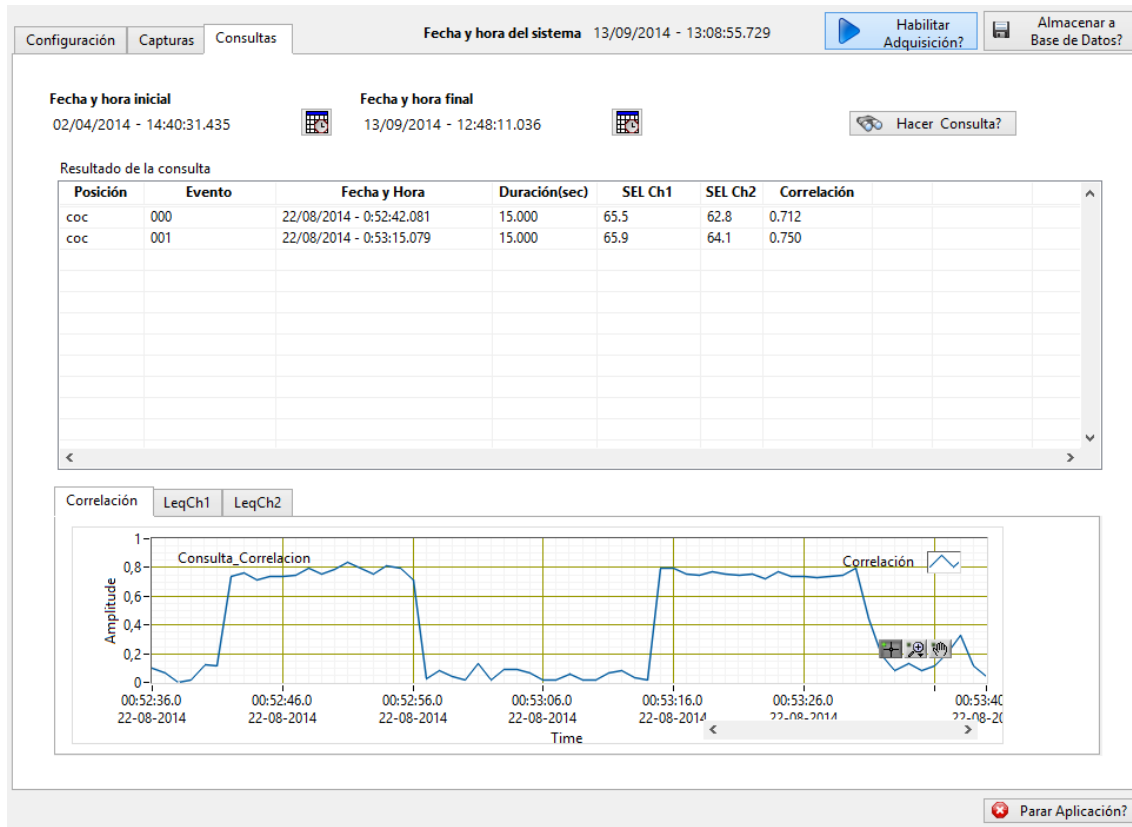


Figura 66. Tabla de resultados mostrando correlación

5 CONCLUSIONES

5.1 Sistema general de medida

Se ha conseguido el objetivo propuesto en este proyecto. Se ha diseñado un prototipo de sistema de medida bicanal alternativo a uno homologado con el material disponible (PC, unos micrófonos determinados, tarjeta de sonido externa) y un software de medida diseñado para la ocasión. Tras las pruebas realizadas, se llega a la conclusión que puede utilizarse para detectar toda clase de eventos sonoros además de clasificarlos y evaluarlos. Solo hay que elegir unas condiciones de umbral y ancho del evento independientemente de la fuente sonora que se tenga. Esta puede ser desde aviones, vehículos (pudiendo evaluar eventos aislados de ruido de tráfico), ruido provocado por un vecino en una vivienda etc.

El sistema de medida puede ser de uso fijo o portátil como se pretendió en los objetivos iniciales. Fijo, porque tiene la posibilidad de conectarse a la red eléctrica como fuente de alimentación en una localización fija determinada y adquirir datos de forma permanente. Por ejemplo, un hogar cercano a un aeropuerto. Portátil, porque contiene una red de baterías para ir tomando medidas en diferentes localizaciones o en una misma que no disponga de fuente de alimentación. El sistema en ambos casos permitirá adquirir datos según duración de la batería, característica que define a este tipo de sistemas. Otra característica que le hace ser portátil es la facilidad y comodidad para la instalación del sistema.

El equipo de medida está abierto a ampliaciones o substituciones de equipo:

- Al ordenador usado se le pueden conectar discos duros externos de gran capacidad por medio de USB y almacenar en ellos gran cantidad de bases de datos, lo que permitirá almacenar las adquisiciones y realizar las consultas necesarias si se llegara al límite de la memoria interna de almacenamiento del ordenador.
- Se pueden sustituir los micrófonos por otros. Si son micrófonos tipo 1 calibrados que son los usados en sistemas de medida homologados, el sistema no presentará errores en la medida.

Si son otro tipo de micrófonos el sistema tendrá un error como el demostrado en el primer experimento del apartado 4 resultados, por lo tanto habría que calibrarlo y analizar su error como se hizo en dicho experimento para determinar la fiabilidad de ese hipotético sistema usado.

- El sistema es bicanal pero se pueden habilitar más canales según necesidad. Un ejemplo puede ser habilitar un tercer micrófono para tener otra referencia en la medida. Para realizar esto habría que disponer de una tarjeta de sonido de tres canales y a continuación en los parámetros de configuración de la adquisición en la pestaña configuración de la interfaz poner un valor tres en número de canales. El sistema se reajustara con una pequeña programación y estará determinado para los tres canales deseados.
- Se puede usar una tarjeta de sonido externa diferente. Solo tiene que reconocerla el ordenador como propia. Esto se realiza en la configuración de sonido del propio PC. A continuación al estar elegido en dispositivos el valor 0, LabVIEW por defecto reconocerá esa tarjeta.
- Para un uso portátil del sistema se pueden añadir baterías de recambio, trípodes para la colocación de los micrófonos, pantallas anti viento...según necesidad.
- Se puede integrar este sistema de medida a una red de trabajo general con más sistemas, conectándose a través de un servidor o una propia red de trabajo de forma rápida y sencilla.
- Por último el software diseñado se puede instalar en cualquier ordenador, sea portátil o de sobremesa que tenga instalado LabVIEW versión 2013 y las dos toolkits usadas :
 - Toolkit Sound and Vibration 2013 de National Instruments.
 - Toolkit Database Connectivity 2013 de National Instruments.

5.2 Funcionalidad del sistema desarrollado

Independencia de módulos:

El objetivo de diseñar dos módulos independientes (adquisición y consultas) con un nexo de unión de base de datos se ha cumplido.

Para demostrarlo se realizó la siguiente prueba. Un mismo disco duro externo que actúa como servidor improvisado será compartido por dos ordenadores con la siguiente configuración:

- Un ordenador instalado con el equipo usado en este proyecto (PC+ micrófonos+ tarjeta de sonido externa). Se usara para adquisiciones y consultas. Se colocara en el puesto de medida denominado A.
- Otro con el software diseñado instalado, reconocido por su tarjeta de sonido propia. Se usara para consultas al no disponer de más equipo para adquirir datos. Se colocara en el puesto de medida denominado B.
- Se tendrá como fuente de voz un DVD de un concierto musical y la localización será en el interior de una vivienda.

Primero el ordenador del puesto A se encargara de adquirir datos en una base de datos creada. Una vez adquiridos, el ordenador del puesto B cargara la misma base de datos y empezará a hacer consultas. Mientras tanto el ordenador del puesto A seguirá adquiriendo o también podrá consultar independientemente de lo que haga el del puesto B. También puede ocurrir que un ordenador en cualquier puesto este inactivo y el otro siga operando.

El sistema (dos puestos más servidor) funcionó perfectamente en todas las combinaciones propuestas.

El experimento se probó con dos ordenadores pero podría haberse hecho con más, simplemente se debe configurar cada ordenador para que se conecte al disco duro externo (servidor) e instalar el programa diseñado en este proyecto. Si además se quiere adquirir, se necesitara tarjeta de sonido habilitada para dos micrófonos. Si se quiere consultar solo haría falta instalar el software de este proyecto.

Como conclusión señalar que se dispone de un sistema abierto a múltiples combinaciones y ampliaciones sin tener que estar sus puestos localizados en un mismo emplazamiento. Se puede trabajar en diferentes localizaciones de tomas de medida separadas geográficamente sin restricciones e añadir más puestos de trabajo de forma cómoda y rápida. Para conectar todo el sistema solo hace compartir el enrutamiento de la base de datos a usar.

- **Evaluación de eventos mediante descriptores:**

Para evaluar los eventos de forma independiente, Según la norma UNE-ISO 1996 -1:2005 [25] los ruidos procedentes de sucesos aislados (como el paso de un avión, un camión o una explosión en una cantera), que son los estudiados en este proyecto, se pueden caracterizar por muchos descriptores. Estos descriptores incluyen magnitudes físicas y los niveles correspondientes en decibelios. La norma recomienda como descriptores para el estudio de eventos aislados:

- **Nivel de presión sonora máximo (L_{amax} (dBA)):** nivel sonoro más alto que se registra durante un periodo de tiempo.
- **Nivel de exposición sonora (SEL) o L_E :** nivel de sonido constante en un segundo que tiene la misma energía que el ruido considerado en un periodo determinado de tiempo.

En un principio se pensó en usar como descriptor de los eventos el Nivel de presión sonora máximo pero se llegó a la conclusión tras probar inicialmente el sistema y evaluar varios eventos de elegir el descriptor Nivel de exposición sonora. Al ver que eventos de distinta duración presentaban el mismo valor de nivel de presión sonora para su evaluación, se llegó a la conclusión que ese descriptor no era el adecuado. El nivel de presión sonora máximo no tiene en cuenta la duración del evento, solo el instante en que se produce su máximo. Dos eventos pueden presentar el mismo valor máximo pero cuanto más sea su duración más molestias originará como se aprecia en la figura 67:

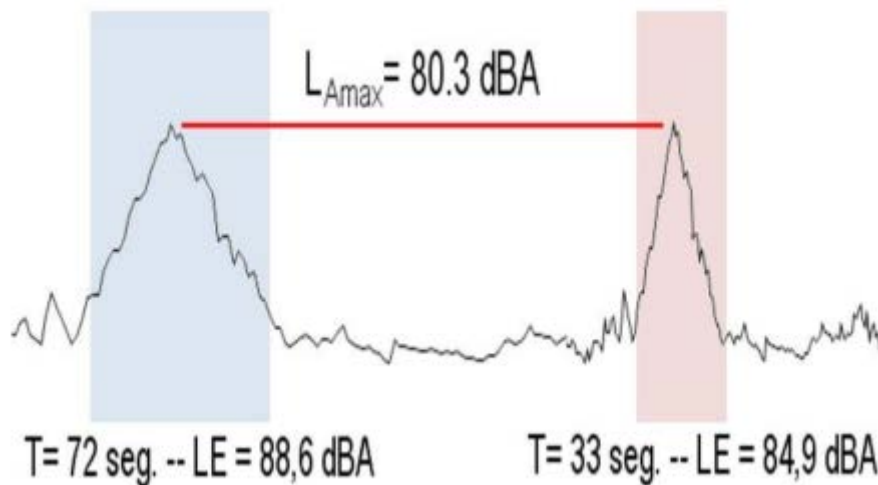


Figura 67. Comparación ambos descriptores

El nivel de exposición sonora integra la totalidad de la energía acústica con lo que pone de manifiesto cuál de los eventos es más ruidoso independientemente del máximo que presenten como se observa en la figura 67.

Al usar el descriptor SEL los eventos que presentaban usando el Nivel de presión sonora el mismo valor posteriormente presentaron un valor diferente y acorde con sus características, por lo que se decidió evaluarlos en el proyecto mediante esta forma.

Siguiendo con los descriptores de ruido una posible ampliación del proyecto podría ser la siguiente:

- El uso del nivel de exposición sonora (SEL) implica obtener un valor asociado a cada evento sonoro ocurrido. Para evaluar el ruido producido por todos los eventos en un determinado espacio de tiempo o su contaminación acústica producida en un único valor se usa el indicador de ruido L_{eq} mediante la siguiente fórmula:

$$L_{eq} = 10 \log \left[\sum 10^{\frac{Li}{10}} \right] - 10 \log T \quad [26]$$

Li cada uno de los valores SEL de cada evento.

T el intervalo de duración de la medida.

Por ejemplo en el caso de la evaluación del ruido producido por un conjunto de aviones la legislación actual establece tres periodos de referencia: día (07-19h), tarde (19-23h) y noche (23-07h) para su medida. Un sistema de medida capta los siguientes aviones medidos en el aeropuerto de Barcelona durante el día (07-19h), del 15 de Marzo de 2014.

Tabla2. Ejemplo de cálculo de Leq

EVENTO	L_{eq}	Duración	SEL
Evento 1	70	30	85
Evento 2	68	28	82

El L_{eq} se calcularía de la siguiente forma:

$$L_{eq} = 10 \log (10^{\frac{85}{10}} + 10^{\frac{82}{10}}) - 10 \log (T) = 40.4 \text{ dB siendo:}$$

$T = 12 \text{ horas intervalo de referencia día} * 3600 \text{ segundos por hora} = 43200 \text{ segundos.}$

El resultado indicaría un valor que refleja el ruido o contaminación acústica producida por esos dos aviones en ese periodo de tiempo, ese dato se puede comparar con los límites de ruidos establecidos en las legislaciones.

Para implementar este cálculo solo habría que realizar un VI con la formula anterior y colocarlo en el módulo de detección. En la interfaz del usuario se podría implementar un display con su valor y una gráfica que represente el L_{eq} calculado.

- **Módulo de consultas:** las consultas se han definido por posición y fecha/hora al llegar a ese acuerdo el autor y el tutor de este proyecto. Una posible

ampliación de este proyecto es realizar las consultas por otros parámetros: número de eventos, rango de valores del nivel de exposición sonora (SEL), eventos con una duración determinada etc. Para implementarlo se harían las consultas SQL oportunas y se modificaría la programación del módulo consultas para adaptarlo.

- **Interfaz del usuario:** la interfaz se ha realizado al gusto del autor y está diseñada para ser de fácil acceso y sencillo manejo, teniendo los botones estrictamente necesarios para cumplir con los objetivos propuestos para cuando fue programada.

El objetivo se ha cumplido al ser una interfaz cómoda y de fácil uso con los botones, controles y gráficas necesarios para la correcta funcionalidad del sistema.

La programación de dicha interfaz está abierta para posibles modificaciones en una ampliación del proyecto: aparición de nuevos botones, nuevas pestañas, nuevas consultas, nuevas gráficas...realizando la programación oportuna.

6 ANEXO 1 TABLA DE RESULTADOS EXPERIMENTO 1

Se observa como en las columnas 4 y 5 de errores ningún valor supera +/- 1dB. Por lo tanto el sistema es fiable al no presentar mucha incertidumbre.

LevelPER150	LevelC100S	Sonometro	ErrorPER150	ErrorC1000S
62,2	62,8	62,5	-0,3	0,3
62,1	61,9	61,4	0,7	0,5
63,3	62,4	63,4	-0,1	-1
63	62,6	62,4	0,6	0,2
60,4	59,8	60,4	0	-0,6
55,3	55,3	55,5	-0,2	-0,2
59,1	58,7	59,3	-0,2	-0,6
66,2	66,2	66,4	-0,2	-0,2
62,1	62,6	62,6	-0,5	0
63,6	64	63,3	0,3	0,7
64,3	63,5	63,4	0,9	0,1
77,4	76,1	76,7	0,7	-0,6
78,9	77,8	78,4	0,5	-0,6
77,3	76,2	77,1	0,2	-0,9
73,5	72,1	73	0,5	-0,9
71,3	71,5	71	0,3	0,5
75	75,2	75,7	-0,7	-0,5
80,5	79,4	80	0,5	-0,6
60,6	59,6	60,4	0,2	-0,8
60,1	59,2	59,5	0,6	-0,3
63,3	62,1	62,8	0,5	-0,7
61,4	61,2	61,3	0,1	-0,1
63,3	62,4	62,4	0,9	0
62,5	62,4	62,5	0	-0,1

LevelPER150	LevelC100S	Sonometro	ErrorPER150	ErrorC1000S
62,3	62,6	62,9	-0,6	-0,3
63,3	63,8	63,9	-0,6	-0,1
60,1	60,5	60,8	-0,7	-0,3
62,1	61,3	61,7	0,4	-0,4
60,8	60,3	60,6	0,2	-0,3
61,4	61,7	61,5	-0,1	0,2
63,2	63	63,3	-0,1	-0,3
60,9	61,8	61,2	-0,3	0,6
65,7	65,2	65,1	0,6	0,1
62,2	62,9	62,8	-0,6	0,1
59,6	59,6	59,7	-0,1	-0,1
61	61,3	61	0	0,3
55,2	54,1	54,7	0,5	-0,6
63,4	62,8	63	0,4	-0,2
54	54,1	54,3	-0,3	-0,2
61,4	61,6	61,1	0,3	0,5
57,9	57,7	57,5	0,4	0,2
77,5	77,2	77	0,5	0,2
83	82,7	82,3	0,7	0,4
80,6	80,3	80	0,6	0,3
60,2	59,8	59,4	0,8	0,4
47,6	47,9	47,7	-0,1	0,2
54,7	54,7	54	0,7	0,7
77,9	77,8	77,3	0,6	0,5
85	84,3	84,2	0,8	0,1
79,8	79,8	79,4	0,4	0,4
77	76,7	76,1	0,9	0,6
82,2	82	82,4	-0,2	-0,4

LevelPER150	LevelC100S	Sonometro	ErrorPER150	ErrorC1000S
75,7	75,2	75,1	0,6	0,1
61,2	61,6	61,2	0	0,4
58,2	58,8	58	0,2	0,8
56,2	57	56,3	-0,1	0,7
59,2	59,9	59	0,2	0,9
55,4	55,2	55	0,4	0,2
56,9	56,8	56,3	0,6	0,5
63,8	63,2	63,3	0,5	-0,1
58,5	58,5	58,3	0,2	0,2
60,6	60,5	60,6	0	-0,1
53,4	53,3	53	0,4	0,3
58,6	59	58	0,6	1
59,5	59,2	59,7	-0,2	-0,5
56,3	56,3	56,3	0	0
58,5	58,8	58,3	0,2	0,5
61	61,2	61	0	0,2
58,4	58	58	0,4	0
55,8	55,8	55,6	0,2	0,2
62,4	62,9	62	0,4	0,9
54,8	54,6	54,5	0,3	0,1
50,1	50,3	50,6	-0,5	-0,3
58,3	58	58,4	-0,1	-0,4
60,9	60,1	60,6	0,3	-0,5
59,3	59,3	59,2	0,1	0,1
59,2	59,4	59,5	-0,3	-0,1
64,4	64,1	64,5	-0,1	-0,4
58,7	58,7	58,6	0,1	0,1
57,1	57	57,4	-0,3	-0,4

LevelPER150	LevelC100S	Sonometro	ErrorPER150	ErrorC1000S
63,3	63,5	63,6	-0,3	-0,1
62,2	63	62,2	0	0,8
59,6	59,5	59,5	0,1	0
58,3	58,2	58,3	0	-0,1
63	62,3	62,5	0,5	-0,2
62,9	62,8	62,4	0,5	0,4
60,1	60,5	60	0,1	0,5
58,5	58,4	58,4	0,1	0
59,8	59,6	59,2	0,6	0,4
60,7	60,6	60	0,7	0,6
59,3	59,3	59,3	0	0
64,1	64,6	64	0,1	0,6
64,6	64,4	64,3	0,3	0,1
77,1	77,8	77,3	-0,2	0,5
81,8	81,2	81,4	0,4	-0,2
78,1	78,9	78	0,1	0,9
79,2	79,5	79	0,2	0,5
78,4	78,7	78,3	0,1	0,4
76,4	76,5	76	0,4	0,5
71,5	71,3	72	-0,5	-0,7
61,1	61,3	61,3	-0,2	0
64,5	64,8	64,4	0,1	0,4
58,6	58,5	58	0,6	0,5
63,9	63,4	63,2	0,7	0,2
57,8	57,5	57,7	0,1	-0,2
63	62,5	62	1	0,5
62,3	62,6	62,4	-0,1	0,2
58	57,4	57,8	0,2	-0,4

LevelPER150	LevelC100S	Sonometro	ErrorPER150	ErrorC1000S
56,9	56,5	56,3	0,6	0,2

7 BIBLIOGRAFIA

- Domingo Bartí, Rober, *Acústica medioambiental*, ECU, Alicante 2010.
- Cyril M, Harris, *Manual de medidas acústicas y control de ruido*, Hardcover, 1995
- Gaja Diaz, Esteban, *Ingeniería acústica ambiental* , Universidad Politécnica de Valencia 2003.
- Junta de Andalucía, *Guía Técnica de medidas correctoras del ruido*, extraído de su web: www.juntadeandalucia.com.
- King, Robert, *Introduction to Data Acquisition with LabVIEW*, Paperback 2012.
- Ley 37/2003, de 17 de Noviembre, del ruido: *I. Disposiciones generales*.
- Norma CEI 61672-1:2002: *Electroacoustics - Sound level meters / Part 1: Specifications*.
- Norma UNE-ISO 1996 -1:2005: *Description, measurement and assessment of environmental noise / Part 2: Determination of environmental noise levels*.
- Ortiz Andrea, Paula, *LabVIEW práctico con aplicaciones*, ITM 2009
- Parrondo Gayo, Jose Luis, *Acústica Ambiental*, Universidad de Oviedo 2006
- Recuero López, Manuel, *Ingeniería acústica*, EUIT de Telecomunicación, Madrid 1990.
- Rivera Asensio, Cesar, *Monitorado de ruido de aeropuertos: técnicas de detección, clasificación e identificación de ruido de aeronaves como causantes de incertidumbre en la medida*, ETSI Industriales, Madrid 2011.
- Ruiz Rojo Arturo, *Sistema de monitoreo de ruidos ambientales producidos por aviones en el AICM (Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México)*, Instituto Politécnico nacional, México D.F 2008.
- Varios Autores, *LabVIEW entorno gráfico de programación*, Alfaomega 2011.
- Fabricantes y empresas consultados:
 - Brüel & Kjær: <http://www.bksv.es/>.
 - Alava Ingenieros: <http://www.alava-ing.es/>.
 - RION: <http://www.rion.co.jp/english/>.
 - Svanetek: <http://www.svantek.es/>.
 - Topsonic: <http://topsonic.aero/en/>.
 - National Instruments: <http://spain.ni.com/>.
 - AENA: www.aena.es.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] <http://www.aena-aeropuertos.es/>
- [2] Norma CEI 61672-1:2002: *Electroacoustics - Sound level meters / Part 1: Specifications.*
- [3] <http://www.lpi.tel.uva.es/>
- [4] Ruiz Rojo Arturo, *Sistema de monitoreo de ruidos ambientales producidos por aviones en el AICM (Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México)*, Instituto Politécnico nacional, México D.F 2008.
- [5] <http://www.rion.co.jp/english/>
- [6] catálogos de la empresa Alava Ingenieros obtenidos en su web: <http://www.alava-ing.es/>
- [7] <http://www.alava-ing.es/>
- [8] <http://www.alava-ing.es/>
- [9] <http://www.rion.co.jp/english/>
- [10] <http://www.rion.co.jp/english/>
- [11] <http://www.rion.co.jp/english/>
- [12] catálogos de la empresa Bruel & Kjaer obtenidos en su web: <http://www.bksv.es/>
- [13] <http://www.bksv.es/>
- [14] <http://topsonic.aero/en/>
- [15] catálogos de la empresa Svanter de su web: <http://www.svantek.es/>
- [16] <http://www.svantek.es/>
- [17] <http://www.aeropuerto-valencia.com/>
- [18] Ley 37/2003, de 17 de Noviembre, del ruido: *I. Disposiciones generales.*
- [19] catálogos de cada micrófono obtenidos en <http://www.akg.com>.
- [20] Roa, Julio, *Sample Airport Noise Computations*, <http://www.vt.edu/>
- [21] www.wikipedia.org
- [22] Norma UNE-ISO 1996 -1:2005: *Description, measurement and assessment of environmental noise / Part 2: Determination of environmental noise levels*
- [23] Roa, Julio, *Sample Airport Noise Computations*, <http://www.vt.edu/>
- [24] Apuntes acústica ambiental Universidad Politécnica de Madrid.
- [25] Norma UNE-ISO 1996 -1:2005: *Description, measurement and assessment of environmental noise / Part 2: Determination of environmental noise levels.*

- [26] Apuntes acústica ambiental Universidad Politécnica de Madrid.